

Problemlösendes Lernen und Experimentieren in der geographiedidaktischen Forschung

Eine Interventions- und Evaluationsstudie
zur naturwissenschaftlichen Kompetenzentwicklung
im Geographieunterricht

Carina Peter

2013

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines

Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.)

eingereicht an der naturwissenschaftlichen Fakultät

der Justus-Liebig-Universität Gießen

Erstgutachter:

Herr Prof. Dr. Dr. Johann-Bernhard Haversath

Zweitgutachter:

Herr Prof. Dr. Andreas Dittmann

Tag der Disputation 15.01.2014

„Das ganze Leben ist ein Experiment. Je mehr Experimente man unternimmt, desto besser.“

Ralph Waldo Emerson (Philosoph und Schriftsteller 1803 - 1882)

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| Abbildungsverzeichnis | V |
| Tabellenverzeichnis | VII |
| | |
| 1 Einleitung | 1 |
| 2 Theoretische Grundlagen und Forschungsstand | 4 |
| 2.1 Kompetenzen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung | 4 |
| 2.1.1 Naturwissenschaftliche Kompetenzen – Ausgangslage (Vergleichsstudien)..... | 4 |
| 2.1.2 Bildungsstandards und Erkenntnisgewinnung im Fach Geographie..... | 8 |
| 2.2 Problemlösendes Denken und Lernen | 10 |
| 2.2.1 Problemlösen | 10 |
| 2.2.2 Problemlösendes Lernen | 12 |
| 2.2.3 Stand der Forschung: Problemlösendes Lernen..... | 18 |
| 2.3 Kompetenzmodelle | 20 |
| 2.3.1 Kompetenzentwicklungsmodell nach HAMMANN (2004) | 23 |
| 2.3.2 Naturwissenschaftliches Strukturmodell zur Erkenntnisgewinnung nach MAYER (2007)..... | 25 |
| 2.4 Experimentieren im Geographieunterricht..... | 28 |
| 2.4.1 Kriterien eines geographischen Experiments..... | 28 |
| 2.4.2 Experimenteller Algorithmus | 29 |
| 2.4.3 Angeleitetes Experimentieren | 31 |
| 2.4.4 Offenes Experimentieren | 32 |
| 2.4.5 Problemlösendes Lernen und Experimentieren | 34 |
| 2.5 Stand der Forschung..... | 36 |
| 2.5.1 Defizite beim Experimentieren | 36 |
| 2.5.2 Offenes und angeleitetes Experimentieren | 38 |
| 2.5.3 Alter | 39 |
| 3 Forschungsfragen und Hypothesen..... | 40 |
| 4 Forschungsdesign und Methoden..... | 46 |
| 4.1 Pilotierungsstudie | 47 |
| 4.1.1 Entwicklung des Messinstruments | 48 |
| 4.1.2 Erprobung des Messinstruments | 50 |

| | |
|--|-----------|
| 4.1.3 Gütekriterien..... | 54 |
| 4.1.3.1 Objektivität..... | 54 |
| 4.1.3.2 Itemschwierigkeit und Trennschärfe..... | 54 |
| 4.1.3.3 Reliabilität..... | 56 |
| 4.1.3.4 Validität..... | 57 |
| 4.2 Normierungsstudien..... | 58 |
| 4.2.1 Stichprobe..... | 58 |
| 4.2.2 Design..... | 58 |
| 4.3 Interventionsstudie..... | 59 |
| 4.3.1 Stichprobe..... | 59 |
| 4.3.2 Design..... | 60 |
| 4.3.3 Messinstrument..... | 62 |
| 4.4 Statistische Auswertungsverfahren..... | 63 |
| 4.5 Evaluationsstudie (Triangulation)..... | 65 |
| 4.5.1 Stichprobe..... | 65 |
| 4.5.2 Design..... | 65 |
| 4.5.3 Messinstrument..... | 67 |
| 4.5.4 Gütekriterien..... | 70 |
| 4.5.5 Transkription..... | 71 |
| 4.5.6 Kategorien, Codierung und Inter-Coder-Reliabilität..... | 71 |
| 5 Darstellung der Unterrichtseinheit..... | 74 |
| 5.1 Versuchsgruppe..... | 74 |
| 5.1.1 Methodische Konzeption..... | 75 |
| 5.1.2 Konzeptioneller Überblick..... | 76 |
| 5.1.3 Darstellung der Intervention..... | 78 |
| 5.1.4 Offenes Experimentieren (Sequenz 10)..... | 85 |
| 5.2 Vergleichsgruppe..... | 88 |
| 6 Ergebnisse..... | 90 |
| 6.1 Normierungsstudie..... | 90 |
| 6.1.1 Experimentierkompetenz im Klassenstufenvergleich..... | 90 |
| 6.1.2 Teilkompetenzen des Experimentierens im Klassenstufenvergleich..... | 91 |
| 6.1.3 Teilkompetenzen des Experimentierens im Vergleich (Gesamtstichprobe)..... | 93 |
| 6.1.4 Fachwissen im Klassenstufenvergleich..... | 94 |
| 6.1.5 Schulartenvergleich (Experimentierkompetenz und Fachwissen)..... | 95 |
| 6.1.6 Geschlechterspezifische Effekte (Experimentierkompetenz und Fachwissen)..... | 97 |

| | |
|--|------------|
| 6.1.7 Zusammenhang zwischen kognitiven Leistungsniveau, Experimentierkompetenz und Fachwissen | 97 |
| 6.1.8 Zusammenhang zwischen Selbsteinschätzung und Vorwissenstest | 98 |
| 6.2 Kontrolle der Störvariablen (Interventionsstudie) | 99 |
| 6.3 Interventionsstudie | 104 |
| 6.3.1 Pre-/Post-/Follow-Up-Vergleich der Experimentierkompetenzen (Versuchs- und Vergleichsgruppe) | 105 |
| 6.3.2 Pre-/Post-/Follow-Up-Vergleich der Teilkompetenzen des Experimentierens (Versuchs- und Vergleichsgruppe) | 108 |
| 6.3.2.1 Teilkompetenz Fragestellung formulieren | 108 |
| 6.3.2.2 Teilkompetenz Hypothesen generieren | 110 |
| 6.3.2.3 Teilkompetenz Planung eines Experiments | 111 |
| 6.3.2.4 Teilkompetenz Daten auswerten | 112 |
| 6.3.3 Effekt der Lernausgangslage auf den Lernzuwachs (Versuchsgruppe) | 113 |
| 6.3.4 Pre-/Post-/Follow-Up-Vergleich des Fachwissens (Versuchs- und Vergleichsgruppe) | 113 |
| 6.3.5 Ergänzende Analyse: Pre-/Postvergleich des Zusammenhangs zwischen Selbsteinschätzung und Vorwissen (Versuchsgruppe) | 114 |
| 6.3.6 Ergänzende Analyse: Effekte des Lernzuwachses im Vergleich der Teilkompetenzen (Versuchsgruppe) | 116 |
| 6.4 Evaluationsstudie – Triangulation zum offenen Experimentieren | 118 |
| 6.4.1 Offenes Experimentieren und Kompetenzstufenniveau 4 (Triangulation) | 118 |
| 6.4.1.1 Teilkompetenz Fragestellung formulieren | 119 |
| 6.4.1.2 Teilkompetenz Hypothesen generieren | 119 |
| 6.4.1.3 Teilkompetenz Planung eines Experiments | 120 |
| 6.4.1.4 Teilkompetenz Daten auswerten | 121 |
| 6.4.1.5 Zusammenfassung | 121 |
| 6.4.2 Offenes Experimentieren und Problembereiche | 122 |
| 6.4.2.1 Teilkompetenz Fragestellung formulieren | 123 |
| 6.4.2.2 Teilkompetenz Hypothesen generieren | 123 |
| 6.4.2.3 Teilkompetenz Planung eines Experiments | 124 |
| 6.4.2.4 Teilkompetenz Daten auswerten | 126 |
| 7 Diskussion | 129 |
| 7.1 Normierungsstudie | 129 |
| 7.1.1 Experimentierkompetenz | 129 |
| 7.1.2 Fachwissen | 132 |

| | |
|---|------------|
| 7.1.3 Korrelation der Schulnoten, Experimentierkompetenz und Fachwissen..... | 133 |
| 7.1.4 Korrelation der Selbsteinschätzung und des Vorwissenstests..... | 133 |
| 7.2 Kontrolle der Störvariablen (Interventionsstudie)..... | 135 |
| 7.3 Interventionsstudie..... | 136 |
| 7.3.1 Entwicklung der Experimentierkompetenz (Pretest-/Posttest-Vergleich)..... | 137 |
| 7.3.2 Langzeiteffekt Experimentierkompetenz (Pretest-/Follow-Up-Vergleich)..... | 139 |
| 7.3.3 Entwicklung der Teilkompetenzen des Experimentierens (Pretest-/Posttest- Vergleich)..... | 140 |
| 7.3.4 Langzeiteffekt der Kompetenzentwicklung der Teilkompetenzen des Experimentierens (Pretest-/Follow-Up-Vergleich)..... | 144 |
| 7.3.5 Effekt der Lernausgangslage auf den Lernzuwachs (Versuchsgruppe) | 146 |
| 7.3.6 Entwicklung des Fachwissens | 148 |
| 7.3.7 Ergänzende Analyse: Zusammenhang zwischen Selbsteinschätzung und Vorwissen (Versuchsgruppe)..... | 149 |
| 7.3.8 Ergänzende Analyse: Effekte des Kompetenzzuwachses im Vergleich der Teilkompetenzen (Versuchsgruppe)..... | 150 |
| 7.4 Evaluationsstudie – Triangulation zum offenen Experimentieren..... | 151 |
| 7.4.1 Inter-Coder-Reliabilität | 152 |
| 7.4.2 Offenes Experimentieren und Kompetenzstufenniveau 4..... | 153 |
| 7.4.2 Offenes Experimentieren und Problembereiche | 156 |
| 7.5 Diskussion der Methode | 160 |
| 8 Konsequenzen für die Unterrichtspraxis | 162 |
| 9 Fazit und Ausblick..... | 164 |
| 10 Literaturverzeichnis..... | 167 |
| 11 Anhang..... | 181 |
| I Messinstrument (Normierungs- und Interventionsstudie)..... | 181 |
| II Unterrichtseinheit (Versuchsgruppe)..... | 197 |
| III Protokollausschnitte (Evaluationsstudie) | 223 |
| IV Codieranleitung (Evaluationsstudie) | 228 |
| V Codierung der Protokollausschnitte (Evaluationsstudie) | 229 |
| 12 Versicherung..... | 249 |
| 13 Danksagung..... | 250 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: PISA-Erhebungen 2000-2012 (verändert nach IPN 2011) | 5 |
| Abbildung 2: Prinzipien des problemlösenden Lernens (nach MANDL 2003, S. 10; MAYER, ZIEMEK 2006, S. 7; RINSCHDE 2007, S. 67; HASSELHORN, GOLD 2009, S. 262 ff.) | 16 |
| Abbildung 3: Strukturmodell zum wissenschaftlichen Denken (scientific reasoning) (MAYER 2007, S. 181) | 26 |
| Abbildung 4: Phasen und Arbeitsschritte des Experimentierens im Geographieunterricht (verändert nach OTTO ET AL. 2011, S. 107; MÖNTER, HOF 2012, S. 297) | 29 |
| Abbildung 5: Grad der Hilfestellung durch Lehrerinnen und Lehrer bzw. Grad der Eigenverantwortlichkeit der Schülerinnen und Schüler beim angeleiteten und offenen Experimentieren (verändert nach OTTO ET AL. 2011, S. 105; MÖNTER und HOF 2012, S. 305) | 32 |
| Abbildung 6: Die Dimensionierung und Graduierung des offenen Experimentierens im Überblick (PRIEMER 2011, S. 325) | 33 |
| Abbildung 7: Forschungsdesign | 46 |
| Abbildung 8: Sequential explanatory design (verändert nach TASHAKKORI, TEDDLIE 2003, S. 225) | 46 |
| Abbildung 9: Schematische Darstellung des Messinstruments (Interventionsstudie) | 63 |
| Abbildung 10: Fragestellung formulieren (Sequenz 2) | 79 |
| Abbildung 11: Fragestellung formulieren (Sequenz 4) (verändert nach PETER, HOF 2011, S. 45) | 80 |
| Abbildung 12: Hilfekarte Fragestellung formulieren (Sequenz 4) | 81 |
| Abbildung 13: Planung eines Experiments (Sequenz 5) | 82 |
| Abbildung 14: Hypothesenüberprüfung (Sequenz 6) | 83 |
| Abbildung 15: Salzgehalt der Ostsee (Sequenz 10) | 85 |
| Abbildung 16: Öffnungsgrad der Unterrichtseinheit (verändert nach PRIEMER 2011, S. 325) | 87 |
| Abbildung 17: Kompetenzgrad der Methode des Experimentierens (Klassenstufen 5 bis 9) ($MW \pm 1 SD$) | 91 |
| Abbildung 18: Kompetenzgrad der Teilkompetenzen der Methode des Experimentierens (Klassenstufen 5 bis 9) | 92 |
| Abbildung 19: Vergleich der Teilkompetenzen ($MW \pm 1 SD$) | 94 |
| Abbildung 20: Kompetenzgrad des Fachwissenstest (Klassenstufen 5 bis 9) ($MW \pm 1 SD$) | 94 |

| | |
|--|-----|
| Abbildung 21: Experimentierkompetenz und Fachwissen im Schulformvergleich (Klassenstufen 5-7) (MW \pm 1 SD) | 96 |
| Abbildung 22: Experimentierkompetenz und Fachwissen im Geschlechtervergleich (MW \pm 1 SD) | 97 |
| Abbildung 23: Kontrolle der Störvariable Treatmentgruppen (MW \pm 1 SD) | 101 |
| Abbildung 24: Kontrolle der Störvariable Schulart (MW \pm 1 SD) | 102 |
| Abbildung 25: Kontrolle der Störvariable Lehrkraft | 103 |
| Abbildung 26: Messwiederholung der Experimentierkompetenz im Gruppenvergleich (Pre-/Post-/Follow-Up-Vergleich) | 106 |
| Abbildung 27: Messwiederholung der Experimentierkompetenz im Klassenvergleich (Pre-/Post-/Follow-Up-Vergleich) | 107 |
| Abbildung 28: Messwiederholung der Teilkompetenz Fragestellung formulieren im Gruppenvergleich (Pre-/Post-/Follow-Up-Vergleich) | 108 |
| Abbildung 29: Messwiederholung der Teilkompetenz Hypothesen formulieren im Gruppenvergleich (Pre-/Post-/Follow-Up-Vergleich) | 110 |
| Abbildung 30: Messwiederholung der Teilkompetenz Experiment planen im Gruppenvergleich (Pre-/Post-/Follow-Up-Vergleich) | 111 |
| Abbildung 31: Messwiederholung der Teilkompetenz Daten auswerten im Gruppenvergleich (Pre-/Post-/Follow-Up-Vergleich) | 112 |
| Abbildung 32: Messwiederholung des Fachwissens im Gruppenvergleich (Pre-/Post-/Follow-Up-Vergleich) | 114 |
| Abbildung 33: Lernzuwachs T1 zu T2 | 117 |
| Abbildung 34: Lernzuwachs T1 zu T3 | 117 |
| Abbildung 35: Kompetenzeinstufungen im offenen Experimentierprozess (Evaluationsstudie) | 122 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tabelle 1: Ergebnisse der naturwissenschaftlichen Kompetenz deutscher Schülerinnen und Schüler (PISA) | 6 |
| Tabelle 2: Problemlösendes Lernen und fragend-gelenkter Unterricht..... | 17 |
| Tabelle 3: Übersicht der Theoriemodelle zur Kompetenzentwicklung des Experimentierens/Erkenntnisgewinnung (verändert nach OTTO ET AL. 2010, S. 142) | 21 |
| Tabelle 4: Kompetenzstufen bei der Suche im Hypothesen-Suchraum (HAMMANN 2004, S. 200) | 24 |
| Tabelle 5: Kompetenzstufen bei der Suche im Experimentier-Suchraum (HAMMANN 2004, S. 200) | 24 |
| Tabelle 6: Kompetenzstufen bei der Analyse von Daten (HAMMANN 2004, S. 200) | 24 |
| Tabelle 7: Grade der Schüler selbstständigkeit beim experimentellen Lernen (WILHELMI 2012, S. 6 verändert nach MAYER, ZIEMEK 2006, S. 9)..... | 31 |
| Tabelle 8: Problemorientiertes Lernen und angeleitetes Experimentieren..... | 35 |
| Tabelle 9: Problemorientiertes Lernen und offenes Experimentieren | 36 |
| Tabelle 10: Überblick der Pilotierungsphase zur Testinstrumententwicklung | 50 |
| Tabelle 11: Aufbau und Inhalt des paper-and-pencil-tests (Testkonstruktion) | 53 |
| Tabelle 12: Itemschwierigkeit und Trennschärfe | 55 |
| Tabelle 13: Reliabilität der einzelnen Skalen (Cronbachs α) | 56 |
| Tabelle 14: Übersicht der Stichprobe der Interventionsstudie..... | 60 |
| Tabelle 15: Design der Interventionsstudie | 61 |
| Tabelle 16: Kompetenzstufenmodell und Evaluationsmatrix der qualitativen Studie (verändert nach HAMMANN 2004) | 69 |
| Tabelle 17: Übersicht der Zuordnungscodes der Protokolle | 71 |
| Tabelle 18: Codebeispiel..... | 72 |
| Tabelle 19: Übersicht der Kategoriensysteme | 72 |
| Tabelle 20: Inter-Coder-Reliabilität (Holsti) | 73 |
| Tabelle 21: Konzeption der Intervention (Versuchsgruppe) | 77 |
| Tabelle 22: Konzeption des problemlösenden Lernens und Grad der Offenheit des Experimentierens in Sequenz 10 | 88 |
| Tabelle 23: Konzeption der Unterrichtseinheit (Vergleichsgruppe) | 89 |
| Tabelle 24: Kompetenzgrad der Teilkompetenzen des Experimentierens (Klassenstufen 5 bis 9) mit N, Median und Quartile | 93 |
| Tabelle 25: Korrelationen nach Spearman zwischen Methoden- und Fachkompetenz sowie Zeugnisnoten | 98 |

| | |
|---|-----|
| Tabelle 26: Kreuztabelle zwischen Selbsteinschätzung und Vorwissenstest | 99 |
| Tabelle 27: Eingangsvoraussetzungen der Interventionsstudie..... | 100 |
| Tabelle 28: Ergebnisse des T-Tests im Pre-/Post-/Follow-Up-Vergleich (Experimentierkompetenz)..... | 105 |
| Tabelle 29: Korrelation zwischen Ausgangslage der Versuchsgruppe und Lernzuwachs nach Kendall Tau b..... | 113 |
| Tabelle 30: Zusammenhang zwischen Selbsteinschätzung und Vorwissen (Pretest) | 115 |
| Tabelle 31: Zusammenhang zwischen Selbsteinschätzung und Vorwissen (Posttest)..... | 116 |
| Tabelle 32: Überblick der Ergebnisse | 159 |

1 Einleitung

Im Zuge der mittelmäßigen Ergebnisse deutscher Schülerinnen und Schüler der Erhebung PISA-2000 erfolgte ein Paradigmenwechsel von der Lernzielorientierung hin zum kompetenzorientierten Unterricht. Eine Möglichkeit, eine verstärkte Kompetenzorientierung im Unterricht umzusetzen, stellt die Problemorientierung oder das problemorientierte Lernen dar. Die verstärkte Problemorientierung wird in der naturwissenschaftlichen Grundbildung gefordert, um ein systematisches Verständnis von Denk- und Arbeitsweisen zu erreichen, aus Belegen Schlussfolgerungen ziehen und Entscheidungen verstehen und treffen zu können (OECD 1999, S. 60). Der Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung/Methode wurde auch in den geographischen Bildungsstandards formuliert mit dem Ziel, Kompetenz für lebenslanges Lernen zu generieren (DGFG 2007, S. 18).

Die Kompetenzen der Erkenntnisgewinnung stehen seit Jahren im Fokus der Lehr- und Lernforschung. Neben den internationalen Vergleichsstudien wie PISA (DEUTSCHES PISA-KONSORTIUM 2001; DEUTSCHES PISA-KONSORTIUM 2004; DEUTSCHES PISA-KONSORTIUM 2007, OECD 2010) liegen insbesondere Erkenntnisse aus den Fachdisziplinen der Didaktiken der Naturwissenschaften (z. B. HAMMANN 2004; MAYER 2007; EHMER 2008; GRUBE 2010; HOF 2011) sowie der Lehr- und Lernforschung der pädagogischen Psychologie (z. B. DE JONG, VAN JOOLINGEN 1998; CHEN, KLAHR 1999) vor. Die Methoden bzw. Teilkompetenzen des Experimentierens werden oftmals als geeignet identifiziert, die Erkenntnisgewinnung durch naturwissenschaftliches, systematisches Vorgehen fördern zu können. So nimmt die Methode des Experimentierens in den Naturwissenschaften eine zentrale Rolle sowohl in den naturwissenschaftsdidaktischen Forschungsbereichen als auch in der Unterrichtspraxis ein.

Die Geographie nimmt als Schulfach und Schnittstelle der Natur- und Gesellschaftswissenschaften eine besondere Stellung ein und verfolgt das Ziel, bei den Schülerinnen und Schülern „ein Verständnis natürlicher und sozialer Zusammenhänge“ (DGFG 2010, S. 8) zu bilden. Gerade das Experiment als naturwissenschaftliche Methode bietet die Chance, der Forderung einer stärkeren Problemorientierung und methodisch fundierten Erkenntnisgewinnung im Geographieunterricht gerecht zu werden. Zum einen wird die Brücke geschlagen, die Teildisziplinen der Geographie zu verbinden, indem gesellschaftsrelevante Probleme mit der naturwissenschaftlichen Methode erarbeitet werden (OTTO ET AL. 2010, S. 142 f.; MÖNTER, HOF 2012, S. 292 f.). Zum anderen werden den Lernenden Möglichkeiten aufgezeigt, Problemlösungsstrategien für geographierelevante Fragestellungen zu konstruieren. Jedoch kommt der Experimentiermethode im Geographieunterricht bislang eine eher untergeordnete Bedeutung in der Unterrichtspraxis zu (HEMMER, HEMMER 2010, S. 65 ff.). Zudem

ist sie durch unklare begriffliche Verwendungen gekennzeichnet und erst in Ansätzen in die kompetenzorientierte geographiedidaktische Forschung eingebunden. Die verstärkte Zuwendung der Geographiedidaktik zur Erkenntnisgewinnung durch die Methode des Experimentierens, die in verschiedenen fachdidaktischen Publikationen zum Tragen kommt (z. B. LETHMATE 2006; OTTO 2009; OTTO, MÖNTER 2009; OTTO ET AL. 2010; MÖNTER, HOF 2012), verdeutlicht den hohen Stellenwert der Methode auch aus geographiedidaktischer Perspektive. Das Experiment, als elementare naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweise, stellt zudem laut Interessensstudie die beliebteste Arbeitsweise der Schülerinnen und Schüler im Geographieunterricht dar (HEMMER, HEMMER 2010, S. 65 ff.), so dass nicht nur auf Grundlage der Fachrelevanz, sondern auch gestützt auf die Interessen der Lernenden die Notwendigkeit besteht, die Methode näher zu untersuchen.

Die Förderung naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung muss Ziel des Geographieunterrichts sein. Somit steht im Mittelpunkt der Forschungsarbeit die empirische Erhebung der Experimentierkompetenz durch problemlösendes Lernen im Geographieunterricht mit anschließender adäquater Förderung (Intervention) und Evaluation.

Die Ausgangslage wird im zweiten Kapitel vorgestellt und basiert auf den Erkenntnissen naturwissenschaftlicher Kompetenzen der internationalen Vergleichsstudien sowie den geographischen Bildungsstandards. Zudem wird der Ansatz des Problemlösens bzw. problemlösenden Lernens aus verschiedenen fachwissenschaftlichen Perspektiven analysiert. Insbesondere Erkenntnisse der pädagogischen Psychologie, der Erziehungswissenschaft, der Didaktiken der Naturwissenschaften sowie der Geographiedidaktik lassen vielfältige Aspekte und Elemente des Ansatzes erkennen. Der Aufarbeitung des geographischen Experiments kommt außerdem eine zentrale Bedeutung zu, da in der didaktischen Fachliteratur kontroverse Verwendungen vorliegen und fundierte Definitionen im Zuge jüngerer Publikationen an Bedeutung gewinnen (OTTO 2009; OTTO, MÖNTER 2009; MÖNTER, HOF 2012). Noch bestehende Lücken der methodischen Darstellung werden auf Grundlage der naturwissenschaftlichen Didaktiken geschlossen und durch Kompetenztheorien sowie bestehende Forschungserkenntnisse ergänzt.

Im dritten Kapitel werden die zentralen Fragestellungen und Hypothesen der vorliegenden Forschungsarbeit auf Basis der theoretischen Grundlage abgeleitet, so dass im vierten Kapitel das Forschungsdesign und die Methoden aufgeführt werden. Bestehend aus drei Teilstudien (Normierungsstudie, Interventionsstudie und Evaluationsstudie), bildet die Interventionsstudie, basierend auf einem Zweigruppenplan mit Versuchs- und Vergleichsgruppen im Längsschnitt mit drei Messzeitpunkten, den Kern der vorliegenden Forschungsarbeit. Die Analyse der Leistungsentwicklung und damit einhergehend die Effektivität der Intervention wird evaluiert. Detaillierte Erkenntnisse und Probleme der praktischen Experimentierkompe-

tenz werden durch eine qualitative Analyse ergänzend erhoben. Die Interventionseinheit wird anschließend im fünften Kapitel abgeleitet und dargestellt.

Die Ergebnisdarstellung erfolgt im sechsten Kapitel entsprechend der Konzeption in einer dreigeteilten Gliederung von der Normierungsstudie zur Interventionsstudie und anschließenden Evaluationsstudie und wird durch zusätzliche Analysen (z. B. Störvariablen, Selbsteinschätzung) ergänzt, so dass im siebten Kapitel eine auf den Ergebnissen begründete Diskussion der Fragestellungen und Hypothesen folgt.

Abschließend werden Konsequenzen für die Unterrichtspraxis aufgezeigt und ein Fazit formuliert.

2 Theoretische Grundlagen und Forschungsstand

2.1 Kompetenzen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung

WEINERT (2001) definiert Kompetenzen als „die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können“ (WEINERT 2001, S. 28). WEINERT (2001) erklärt den Leistungsstand als Kompetenz, die in drei Arten differenziert werden kann: a) fachliche Kompetenz (geographische Aspekte), b) fachübergreifende Kompetenzen (z. B. Teamarbeit, Problemlösestrategien), c) Handlungsorientierung (motivationale, volitionale und soziale Bereitschaften und Fähigkeiten). Um inhaltlich Phänomene und Probleme verstehen zu können, darf nach WEINERT (2001) die Bedeutung der Fachkompetenz nicht zu Gunsten der fachübergreifenden Kompetenzen verringert werden. Um die im Kompetenzbegriff geforderte Problemlösefähigkeit bei den Schülerinnen und Schülern entwickeln zu können, müssen somit alle drei Kompetenzarten gleichwertig gefördert werden.

WEINERT (2001) fordert nicht nur die Leistungserhebung, sondern insbesondere die Überprüfung der Lernentwicklung bei Veränderung der Bedingungen (z.B. Intervention) auf nationaler und regionaler Ebene hinsichtlich fachlicher und überfachlicher Kompetenzen (WEINERT 2001, S. 30). Demnach wird in der vorliegenden Arbeit die Lernentwicklung anhand einer Intervention evaluiert. Dabei werden die Kompetenzen auf fachgeographischer Ebene mit dem Kontext – Süßwasser- und Salzwasserphänomene/-probleme an ausgewählten Raumbeispielen – sowie der Methode des Experimentierens festgelegt und die fachübergreifenden Kompetenzen hinsichtlich der Entwicklung von Problemlösestrategien definiert. Grundlagen dafür bilden wiederum geographiedidaktische Strategien der Erkenntnisgewinnung.

Anstoß der intensiven Auseinandersetzung mit den Kompetenzen sowie der resultierenden Kompetenzentwicklungen des letzten Jahrzehntes waren u. a. Ergebnisse der Vergleichsstudien TIMSS und PISA, die zu grundlegenden Veränderungen der Unterrichtsqualität in Deutschland führten. Die Studien werden im Folgenden vorgestellt, der Schwerpunkt liegt auf den PISA-Erhebungen.

2.1.1 Naturwissenschaftliche Kompetenzen – Ausgangslage (Vergleichsstudien)

Die Ergebnisse der TIMSS-Studie aus dem Jahr 1997 verdeutlichten, dass die deutschen Schülerinnen und Schüler starke Defizite im konzeptionellen Verständnis sowie dem Verständnis naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen aufweisen. Etwa 25% der Probanden erreichen die niedrigste Kompetenzstufe (BAUMERT ET AL. 1997). Diese Befunde werden durch

die ersten Ergebnisse der PISA-Studie bestätigt. PISA, ein Projekt der OECD zur Erhebung internationaler Schulleistungen, untersucht seit dem Jahr 2000 in einem dreijährigen Turnus Leistungsdaten von 15-jährigen Schülerinnen und Schülern. Der Schwerpunkt der Erhebungen variiert zwischen a) Lesekompetenz, b) Mathematik und c) Naturwissenschaften (s. Abb. 1).

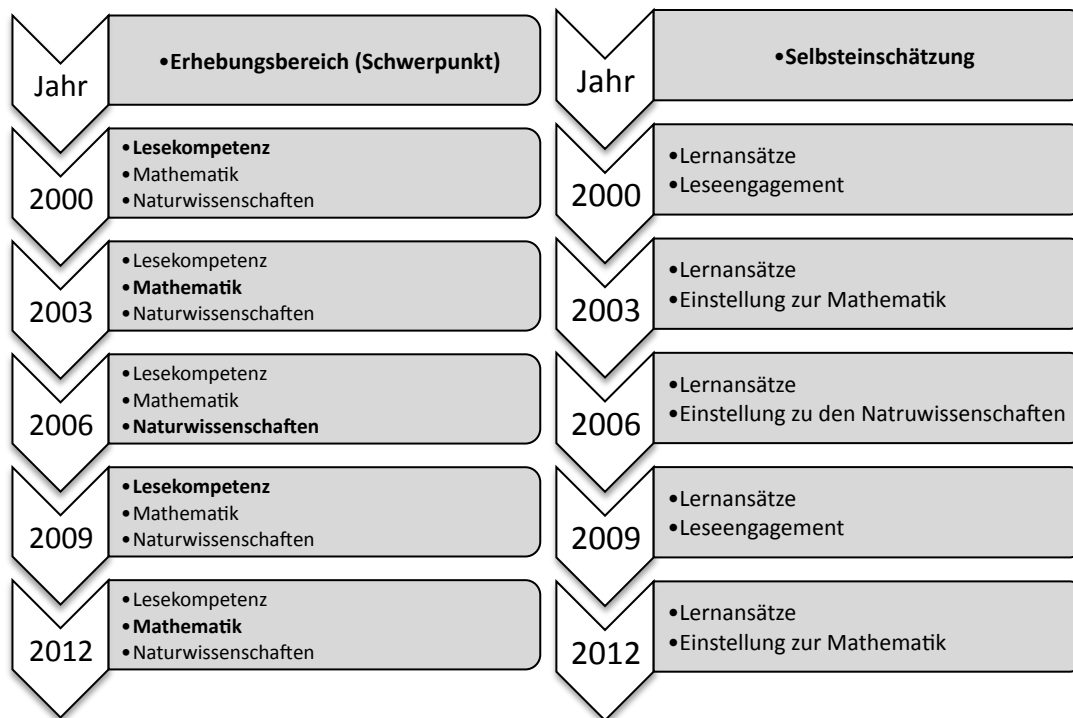


Abbildung 1: PISA-Erhebungen 2000-2012 (verändert nach IPN 2011)

Die Abbildung verdeutlicht, dass im dreijährigen Turnus der Schwerpunkt der Studie wechselt, jedoch zugleich immer die naturwissenschaftlichen Kompetenzen erhoben wurden. Dabei wird der Untersuchungsansatz der naturwissenschaftlichen Grundbildung im Jahr 2000 und 2003 durch drei Schwerpunkte gebildet: a) naturwissenschaftliche Grundbildung, b) naturwissenschaftliche Konzepte und c) Anwendungsbereiche. Die 2006 durchgeführte PISA-Studie stellt einen naturwissenschaftlichen Schwerpunkt dar. Die naturwissenschaftliche Grundbildung sowie die Entwicklung der Erhebungsinstrumente umschließen 2006 im Gegensatz zu den vorausgegangenen Erhebungen vier Aspekte. Eine Erweiterung zum Untersuchungsaspekt Einstellungen gegenüber den Naturwissenschaften erfolgt (OECD 2007, S. 22 f.). Dabei fokussiert die Studie insbesondere „die Fähigkeit der Jugendlichen, ihre Kenntnisse und Fertigkeiten zur Bewältigung alltäglicher Herausforderungen“ (OECD 2007, S. 18) umzusetzen. Es werden naturwissenschaftliche Kenntnisse und Fähigkeiten sowie Einstellungen der Schülerinnen und Schüler zu den Naturwissenschaften erhoben. Basierend auf dem Konzept der Grundbildung (literacy), sind hierbei Anwendung von Gelerntem auf neue Aufgabenfelder, Analysefähigkeit, logisches Denkvermögen und Kommunikation gemeint.

Die Schülerinnen und Schüler beantworteten in den jeweiligen Studien innerhalb eines Zeitrahmens von zwei Stunden einen pen-and-pencil-test, der die Aspekte Wissen, Kompetenzen, Kenntnisse und Fertigkeiten umfasst. Hinsichtlich des Kompetenzbereichs der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung werden drei Teilkompetenzen differenziert: a) Naturwissenschaftliche Fragestellung erkennen und formulieren, b) naturwissenschaftliche Phänomene beschreiben und erklären sowie c) naturwissenschaftliche Evidenzen interpretieren und nutzen (IPN 2012). Nach den PISA-Ergebnissen des Jahres 2000, in der deutsche Schülerinnen und Schüler unterdurchschnittliche Kompetenzen erzielen, wird in den folgenden Erhebungsphasen eine Kompetenzsteigerung deutlich. So erreichen die Schülerinnen und Schüler 2006 einen signifikant höheren Mittelwert (516 Punkte) im Vergleich zum OECD-Durchschnitt (500 Punkte) (s. Tab. 1).

Tabelle 1: Ergebnisse der naturwissenschaftlichen Kompetenz deutscher Schülerinnen und Schüler (PISA)

| Erhebungsjahr | Durchschnitt der deutschen Schülerinnen und Schüler |
|---------------|---|
| 2000 | 487 Punkte |
| 2003 | 502 Punkte |
| 2006 | 516 Punkte |
| 2009 | 520 Punkte |

Der OECD-Durchschnitt liegt bei 500 Punkten. Eine positive Entwicklung der deutschen Schülerinnen und Schüler von einem unterdurchschnittlichen Kompetenzstand im Jahr 2000 zu einem signifikant überdurchschnittlichen Grad im Jahr 2009 wird deutlich (PISA-KONSORTIUM 2000; PISA-KONSORTIUM 2003; PISA-KONSORTIUM 2006; PISA-KONSORTIUM 2009).

Ergänzt wird die Erhebung der naturwissenschaftlichen Kompetenzen durch einen auf 30 Minuten angelegten Fragebogen zur Selbsteinschätzung (Untersuchungsaspekt 4 – Einstellung), der ebenfalls entsprechend der Erhebungsbereiche variierte und im Erhebungsjahr 2006 primär Einstellungen, Engagement und Motivation der Schülerinnen und Schüler zu den Naturwissenschaften umfasst (OECD 2007, S. 21). Als Ergebnis wird beschrieben, dass ein hoher Anteil der hochkompetenten Schülerinnen und Schüler (44 %) zugleich kein hohes Interesse an Naturwissenschaften aufweist (PRENZEL ET AL. 2006, S. 7).

ARTELT ET. AL (2001) benennen als Schlussfolgerung der PISA-Ergebnisse 2000 den gesellschaftlich niedrig angesehenen Stellenwert der Naturwissenschaften, verbunden mit einer geringeren Wertschätzung der Nebenfächer. Weiterhin wird die zu geringe Berücksichtigung

der Problemorientierung sowie naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen im Unterricht als Ursache aufgeführt.

Die positive Entwicklung der deutschen Schülerinnen und Schüler, die sich ab dem Jahr 2003 und verstärkt ab 2006 abzeichnet, wird auf die Verbesserung der Unterrichtsqualität im Zuge gesteigerter Problem- und Anwendungsorientierung sowie verbesserter Schülerexperimente zurückgeführt. Zugleich wird aber deutlich, dass ein höheres Niveau erreicht werden kann und die positiven Entwicklungen der letzten Jahre nicht zum Ausruhen auffordern darf, insbesondere im Hinblick auf die zugleich negativen Ergebnisse der Studien, wonach fast 15 % der Schülerinnen und Schüler in den Jahren 2006 und 2009 über nahezu keine naturwissenschaftliche Kompetenz verfügen (KLIEME ET. AL 2010, S. 194). Dabei nehmen die verschiedenen Bildungsgänge eine beträchtliche Funktion ein, die durch die starke Streuung der Ergebnisse deutlich wird. Gerade in den Schularten der Hauptschule, aber auch verstärkt in Realschulen sowie integrierten Gesamtschulen verfügen Jugendliche teilweise nur über geringe naturwissenschaftliche Kompetenzen (KLIEME ET. AL 2010, S. 189 f.). Hinsichtlich des Einflusses der Schulart wird ein unterschiedlicher Kompetenzstand ermittelt. Schülerinnen und Schüler der Gymnasien liegen in der Erhebung 2006 im Durchschnitt deutlich über dem Basisniveau der ersten Kompetenzstufe. Probanden der Realschulen befinden sich hingegen mit 5,2 % unterhalb oder auf der ersten Kompetenzstufe, Schülerinnen und Schüler der integrierten Gesamtschulen mit 22,2 % und Lernende der Hauptschulen mit 39,6 % unterhalb des Basisniveaus (PRENZEL ET AL. 2006, S. 6). In der Erhebung 2009 werden vergleichbare Ergebnisse aufgezeigt. Die höchsten Werte (602 Punkten) erreichen die Schülerinnen und Schüler im Bildungsgang Gymnasium, die niedrigsten (431 Punkten) werden im Bildungsgang Hauptschule erzielt. Die Differenz zwischen den Ergebnissen der Schülerinnen und Schüler des Gymnasiums und denen der Hauptschule liegt bei 171 Punkten und einer sehr großen Effektgröße ($d = 2.40$). Der Unterschied zwischen beiden Bildungsgängen entspricht drei Kompetenzstufen. Zwischen Gymnasium und Realschule beträgt der Unterschied 81 Punkte (Effektgröße $d = 1.17$). Dies entspricht etwa einer Kompetenzstufe. Die meisten Schülerinnen und Schüler der Hauptschule werden der Kompetenzstufe II und die der Realschule und integrierten Gesamtschule der Kompetenzstufe III zugeordnet (PISA-KONSORTIUM 2000; PISA-KONSORTIUM 2003; PISA-KONSORTIUM 2006; PISA-KONSORTIUM 2009; KLIEME ET. AL 2010, S. 189 f.). Studien zur naturwissenschaftlichen Kompetenz zeigen ähnliche Befunde. So belegt GRUBE (2010) verstärkt bei Schülerinnen und Schülern des Gymnasiums, aber auch bei Lernenden der Realschule positive Entwicklungen im wissenschaftlichen Denken, wohingegen Hauptschüler stagnierende Entwicklungen verzeichnen (GRUBE 2010, S. 82). In der Normierungsstudie von HOF (2011) zeigen Realschüler gegen-

über Schülerinnen und Schülern des Gymnasiums ein geringeres Kompetenzniveau in der Experimentierkompetenz (HOF 2011, S. 94).

Zusammenfassend wird festgehalten, dass deutsche Schülerinnen und Schüler in der PISA-Studie 2000 unterdurchschnittliche Ergebnisse in den naturwissenschaftlichen Kompetenzen erreichten. Resultierende Veränderungen der Unterrichtsqualität zu einer verstärkten Problem- und Anwendungsorientierung werden u. a. als Gründe für die positiven Entwicklungen der Folgeerhebungen 2003 bis 2009 aufgeführt. Dennoch treten deutliche Streuungen der Ergebnisse auf, die Schülerinnen und Schülern der Hauptschule sowie tendenziell der Realschule und integrierten Gesamtschule weiterhin geringere naturwissenschaftliche Kompetenzen zusprechen. Eine gezielte Förderung dieser Schülerinnen und Schüler ist notwendig, um den Lernenden eine günstigere „Prognose für ihre weitere Ausbildungs- und Berufslaufbahn“ (KLIEME ET. AL 2010, S. 191) zu ermöglichen.

2.1.2 Bildungsstandards und Erkenntnisgewinnung im Fach Geographie

Ende der 1990er Jahre vollzog sich ein Paradigmenwechsel in der Bildungspolitik von der Input-Orientierung zur Output-Orientierung. Grundlagen waren die Ergebnisse der internationalen Vergleichsstudien wie TIMSS und PISA, orientiert an den Erfahrungen anderer Länder. Bildungsstandards wurden zunächst für die Fächer Deutsch, Mathematik, erste Fremdsprache sowie die Fächer der Naturwissenschaften (Biologie, Chemie und Physik) festgelegt und stellen seit 2004/05 verbindliche Referenzrahmen dar. Da eine Ausweitung der Entwicklung von Bildungsstandards für weitere Fächer unterstützt durch die Kultusministerkonferenz aufgrund des finanziellen Aufwandes nicht erfolgen sollte, wurde 2005 eine Arbeitsgruppe auf Initiative des Hochschulverbands für Geographiedidaktik (HGD) gebildet, die die Erarbeitung Nationaler Bildungsstandards für das Fach übernahm. Die entwickelten Bildungsstandards für den mittleren Schulabschluss im Fach Geographie wurden 2005 vom Präsidium der DGfG und im Jahr 2006 vom Verband Deutscher Schulgeographen (VD SG) verabschiedet und in der ersten Auflage 2007 veröffentlicht (HEMMER, HEMMER 2007, S. 1 f).

Die Forderung, dass Schülerinnen und Schüler zukünftig ihre Fähigkeiten, Fertigkeiten und ihr Können in alltäglichen Situationen anwenden und einsetzen können, spiegelt sich in den Bildungsstandards wider. Es steht nicht länger nur die reine Wissenswiedergabe im Fokus, sondern die konkrete Fähigkeit, Gelerntes anzuwenden. Kumulatives Lernen (Output-Orientierung) soll die zielgerichtete Strukturierung (Input-Orientierung) langfristig ersetzen (DGFG 2007, S.2).

Die nationalen Bildungsstandards legen fest, „über welche Kompetenzen ein Schüler am Ende der Sekundarstufe I bzw. beim Übergang in eine andere Schulform verfügen soll“

(HEMMER, HEMMER 2007, S. 3). Hinsichtlich der Annahme, Fähigkeiten an Kompetenzen definieren zu können, formulieren die Bildungsstandards konkrete Kompetenzen innerhalb verschiedener Anforderungsbereiche. Zentrale Aspekte der geographischen Bildung fokussieren die Kategorie Raum sowie Wechselwirkungen zwischen Natur und Gesellschaft. Es werden die Kompetenzbereiche Fachwissen, räumliche Orientierung, Erkenntnisgewinnung/Methoden, Kommunikation, Beurteilung/Bewertung und Handlung definiert. Um relevante geographische Probleme, Phänomene und Prozesse im Sinne des Kompetenzbegriffes in variablen Situationen verantwortungsbewusst erkennen und unter dem Aspekt der raumbezogenen Handlungskompetenz entscheiden zu können, muss u. a. die Problemlösekompetenz bei den Schülerinnen und Schülern entwickelt werden (DGFG 2007, S. 5).

Die geographischen Bildungsstandards für den Mittleren Bildungsabschluss definieren den Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung/Methode als die „Fähigkeit, geographisch/geowissenschaftlich relevante Informationen im Realraum sowie aus Medien gewinnen und auswerten sowie Schritte zur Erkenntnisgewinnung in der Geographie beschreiben zu können“ (DGFG 2007, S. 9). Somit umfasst „die Kenntnis von Informationsquellen, -formen und -strategien“ (DGFG 2007, S. 19) drei Fähigkeiten:

- 1) Informationsgewinnung,
- 2) Informationsauswertung,
- 3) Schritte, die Erkenntnisgewinnung zu beschreiben und zu reflektieren.

Die Informationsgewinnung im Geographieunterricht erfolgt im Sinne der Bildungsstandards durch Medien und/oder eigene Datengewinnung. Die Datengewinnung kann mittels der Methode des Experimentierens erfolgen (DGFG 2007, S. 19). Die Schülerinnen und Schüler sollen erfahren, wie Forscher ihre Erkenntnisse gewinnen und dabei „grundsätzlich die gleichen Schritte bei ihrer eigenen Suche nach Erkenntnissen und Lösungen vollziehen“ (DGFG 2007, S. 20). Dabei wird das Experiment als die charakteristische Erkenntnismethode der Naturwissenschaften bezeichnet und zugleich den Fächern Biologie, Chemie, Geographie und Physik die Aufgabe der adäquaten Vermittlung des Methodenverständnisses zugesprochen (HAMMANN ET AL. 2007, S. 88).

Zusammenfassend wird festgehalten, dass nach den Ergebnissen der internationalen Vergleichsstudien grundlegende Veränderungen auf nationaler Ebene gefordert wurden. Die Umorientierung von Output- zu Input-Strategien rücken im Kontext der Grundbildung (literacy) im Sinne nachhaltigen Lernens in den Fokus. Ausgehend von einem geringen Kompetenzstand im Jahr 2000 werden Kompetenzbereiche neu definiert. In den geographischen Bildungsstandards im Bereich Erkenntnisgewinnung (DGFG 2007, S. 19 ff.) wird u. a. konkret die Fähigkeit benannt, die Schritte der Erkenntnisgewinnung zu beschreiben und zu reflektieren.

ren und dabei in Ansätzen die gleichen Methoden zur Problemlösung zu verwenden, die ein Forscher nutzen würde.

Im Weiteren wird das Problemlösen im Kontext weiterer Fachdisziplinen betrachtet, um Erkenntnisse zur Entwicklung kompetenzorientierter Erkenntnisgewinnung ableiten zu können.

2.2 Problemlösendes Denken und Lernen

In den Fachdisziplinen der pädagogischen Psychologie, der Erziehungswissenschaft, der Didaktiken der Naturwissenschaften und der Geographiedidaktik wurden in den letzten Jahrzehnten vielfältige Erkenntnisse zum problemlösenden Denken und Lernen gewonnen.

2.2.1 Problemlösen

DUNCKER (1974) definiert ein Problem als dann vorhanden, „wenn ein Lebewesen ein Ziel hat und nicht >weiß<, wie es dieses Ziel erreichen soll. Wo immer der gegebene Zustand sich nicht durch bloßes Handeln (Ausführen selbstverständlicher Operationen) in den erstrebten Zustand überführen lässt, wird das Denken auf den Plan gerufen“ (DUNCKER 1974, S.1). Probleme entstehen somit dadurch, dass ein verfolgtes Ziel nicht gelöst werden kann. Weitere Definitionen ähneln dieser. So beschreibt KLIX (1971, S. 640) ein Problem mit einem Anfangszustand, einem Zielzustand und dem Misslingen der Überführung des Anfangszustandes in den gewünschten Zielzustand. LÜER und SPADA (1990, S. 256) sprechen zudem von einem inneren Problemraum, der sich durch Lücken auszeichnet. Eine Barriere zwischen Anfangs- und Zielzustand wird deutlich (FUNKE 2003, S. 20). MIETZEL (1993) beschreibt ein Problem als dann vorhanden, wenn eine Person in einer Situation ist, in der sie ein Ziel erreichen möchte, ihr jedoch der Zugang verschlossen bleibt. Problemlösen wird somit als ein innerer Zustand erklärt. Es wird ausgelöst, wenn „die augenblickliche Handlung für die [festgesetzte] Zielerreichung nicht ausreicht oder eine Diskrepanz zwischen der Handlungserwartung und dem tatsächlichen Ausgang auftritt“ (BÖSEL 2001, S. 292).

Problemlösendes Denken kann als Suche nach der Lösung benannt werden. Eine Möglichkeit dieser Suche wird von THORNDIKE gegen Ende des 19. Jahrhunderts als trial-and-error-learning beschrieben (BETSCH ET AL. 2011, S. 175). Versuch und Irrtum wird definiert als die „Beschreibung einer blinden Problemlösemethode, also eines Problemlösens ohne Einsicht, bei dem so lange probiert wird, bis sich ein Erfolg einstellt“ (BETSCH ET AL. 2011, S. 175). Nicht zum Ziel führende Aktionen werden auf Dauer nicht mehr gezeigt, hingegen häufig bewährte Reaktionen. Um dieser einfachen und blinden Problemlösestrategie entgegenzuwirken, rücken, auch im Zuge der PISA-Studien, komplexe Problemlösungen in den Fokus. Die Reichweite sollte nicht durch einfache Anordnungsaufgaben definiert werden. Vielmehr rückt das Planen und Problemlösen in Alltagskontexten in das Zentrum. Bereiche aus unter-

schiedlichen Domänen (eher praktisch oder eher theoretisch, eher akademisch oder alltagsnah) beeinflussen den authentischen Kontext und damit die Komplexität. Ein Problem kann geschlossen oder offen definiert werden. So werden Ziele transparent bzw. intransparent, letzteres beinhaltet eine höhere Komplexität (KLIEME ET AL. 2001, S.187). Komplexe Probleme sind als Reduzierungen der Barrieren definiert, um vom Anfangszustand zum gewünschten Zielzustand zu gelangen. Die Eigenschaften des Ausgangszustandes, der Barriere oder des gewünschten Zielzustandes sind dabei unbekannt. Die Person muss jedoch unter Anwendung von Wissen sowie kognitiver, emotionaler und sozialer Fähigkeiten vorgehen (FUNKE 2006, S. 440f.). Weiterhin ist das Problemlösen durch die Merkmale der Person und der Situation bedingt. Die Personenmerkmale zur Lösung eines Problems werden nach FUNKE (2006) durch Komponenten der Intelligenz, Motivation und Emotion beeinflusst. Die Merkmale der Situation werden nach FUNKE (2003) in drei Bereiche klassifiziert: a) Art der Aufgabenstellung, b) Stress, c) individuelles Problemlösen versus Problemlöseverfahren in Gruppen.

Aus kognitionspsychologischer und erziehungswissenschaftlicher Perspektive wird Problemlösen weiter eingegrenzt. BAUMERT ET AL. (2003) definiert Problemlösen als „zielorientiertes Denken und Handeln in Situationen, für deren Bewältigung keine Routinen verfügbar sind“ (BAUMERT ET AL. 2003, S. 3). So wird Problemlösen als ein primär kognitiver Prozess beschrieben und von emotionalen und sozialen Faktoren abgegrenzt. Soziale Komponenten (kooperatives Arbeiten) und emotionale Faktoren (Interesse) beeinflussen den Problemlöseprozess, jedoch wird dieser primär von kognitiven Komponenten ermöglicht. Die Qualität des Problemlösens ist somit durch das Verständnis der Problemsituation bestimmt sowie den Denkprozessen bei der Problembearbeitung und der Angemessenheit der erreichten Lösung (BAUMERT ET AL. 2003, S. 3 f).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass ein Problem dann vorliegt, wenn in Situationen ein Ziel nicht routiniert erreicht werden kann, wenn bekannte Verhaltensweisen nicht zum gewünschten Zielzustand führen. Komplexe Probleme sind durch offene und authentische Bezüge gekennzeichnet. Dem kognitiven Prozess wird die primäre Komponente der Problemlösung zugeschrieben, so dass in Anlehnung an BAUMERT ET AL. (2003) in der vorliegenden Arbeit die kognitiven Problemlösestrategien erhoben werden. Soziale und emotionale Faktoren finden hingegen in der Konzeption der Intervention Berücksichtigung.

2.2.2 Problemlösendes Lernen

Im Kontext des Lernens wird oftmals von trägem Wissen (MANDL 2003, S. 8) gesprochen, bei dem erworbenes schulisches Wissen im Alltag nicht angewendet werden kann. Im Unterricht vermittelte Methoden und Wissen können von den Schülerinnen und Schülern schlecht auf Realsituationen im Alltag angewendet oder übertragen werden (MANDL 2003, S. 8). Durch den Einsatz der Problemorientierung im Unterricht wird dem gezielt nachgegangen. Das problemorientierte Lernen stellt einen Ansatz dar, bei dem die erworbenen Kompetenzen auch im späteren Leben Anwendung finden können. Aus Perspektive der pädagogischen Psychologie beruht der Ansatz auf fünf Gestaltungskonzepten, bei denen Lernen als a) aktiver, b) selbstgesteuerter, c) konstruktiver, d) situativer und e) sozialer Prozess konzipiert wird (MANDL 2003, S. 9). HASSELHORN und GOLD (2009) nennen im Kontext des problemorientierten Lernens die Prinzipien des entdeckenden, situierten, kooperativen und selbstgesteuerten Lernens.

Das entdeckende Lernen geht auf BRUNER (1961) zurück und implementiert das problemorientierte Lernen. Es werden „geeignete (d. h. authentische und realistische) Probleme“ (HASSELHORN, GOLD 2009, S. 266) vorgegeben. Dabei sollen die Schülerinnen und Schüler zur Selbsttätigkeit motiviert werden. Neben den entsprechenden Lerngelegenheiten müssen Hilfestellungen zum Problemlöseprozess gegeben werden. Zusammenhänge werden erkannt, indem „ein aktives, selbstständiges und exploratives Lernverhalten“ (HASSELHORN, GOLD 2009, S. 266) gefordert wird. Das entdeckende Lehren, so von HASSELHORN (2009) bezeichnet, ist dadurch charakterisiert, dass keine instruktionale Vorgabe erfolgt, sondern der „Lernende selbst aktiv generiert (herleitet) und konstruiert“ (HASSELHORN, GOLD 2009, S. 262). Daher ist diese Lernform der „kognitiv-konstruktivistischen Lehr-Lern-Theorie“ (HASSELHORN 2009, S. 262) zuzuordnen. Es wird sowohl vom problemorientierten Unterricht (TERHART 2000) als auch von Problemorientierung (REINMANN, MANDL 2006) gesprochen. Übergeordnet werden folgende Merkmale oder Leitlinien für den problemorientierten Unterricht aufgeführt: Situierendes (authentisches) Problem, aktive Konstruktion, selbstgesteuertes Lernen, multiple Kontexte und Perspektiven, kooperative Lernumgebungen (soziale Prozesse) und instruktionale Unterrichtsanteile (REINMANN, MANDL 2006, S. 640 f.; HASSELHORN, GOLD 2009, S. 264 ff.). Als Kritiker des Ansatzes ist AUSUBEL (1968, 1974) zu nennen, der die Ineffizienz der Methode betont, da der Wissenserwerb vermindert werde und insbesondere Nachteile für leistungsschwächere Schülerinnen und Schüler entstünden. Somit befürchtet er durch die entdeckende Unterrichtsform gerade bei leistungsschwächeren Lernen-

den einen verminderten Wissenserwerb durch die Reduktion der direkten Instruktion, der Vorstrukturierung und Darbietung.

Lernprozesse weisen immer eine Steuerungsseite auf. Diese kann a) von außen kommen (fremdgesteuertes Lernen) oder b) vom Lernenden selbst (selbstgesteuertes Lernen). Im regulären Unterricht treten oftmals Mischformen auf, bei denen der Lehrer (fremdgesteuert) den Lernprozess in Gang setzt und abschließend bewertet. Die Erarbeitung des Lerninhalts erfolgt dann durch die Lernenden (selbstgesteuert). Die Lernsteuerung basiert a) auf den kognitiv-rationalistischen Lehr-Lern-Theorien, die durch direkte und adaptive Instruktion gekennzeichnet sind, oder b) auf den kognitiv-konstruktivistischen Lehr-Lern-Theorien, die auf der internen Selbststeuerung und den problemorientierten Modellen basieren (HASSELHORN, GOLD 2009, S. 300 ff.). „Selbstgesteuertes ist selbstständiges ist selbstreguliertes Lernen“ (HASSELHORN, GOLD 2009, S. 302). Selbstreguliertes Lernen ist Lernen, das aus selbstständig generierten Gedanken und Verhaltensweisen resultiert. Es ist auf die systematische Erreichung der eigenen Lernziele ausgerichtet (SCHLUNK, ZIMMERMAN 2003, S. 59). Die Lernenden legen ihre Strategien zur Erreichung dieser Ziele selbstständig fest und evaluieren abschließend ihre Lernstrategie (ARTELT ET. AL 2001, S. 271).

Kooperatives Lernen basiert auf Gruppendynamik, indem die Schülerinnen und Schüler in Kleingruppen zusammenarbeiten und sich gegenseitig unterstützen. Es ist „aktives, selbstständiges und soziales Lernen“ (HASSELHORN, GOLD 2009, S. 285), der Lehrer nimmt eine passiv beratende Rolle ein. Die Gruppengröße kann zwischen zwei und fünf Lernenden variieren. Neben kognitiven werden motivationale und emotionale Kompetenzen gefördert. Eine Erhöhung der qualitativen Behaltensleistung sowie der Anwendbarkeit soll erreicht werden. Weiterhin soll die Konfliktbewältigung gefördert werden. Differenziert werden nach HASSELHORN und GOLD (2009) kooperative Lernformen, bei denen die Lernenden nur durch gemeinsames Arbeiten eine Aufgabe lösen können, kompetitive Zielstrukturen sind hingegen durch Aufgaben gekennzeichnet, die auch einzeln gelöst werden können. In individualisierten Strukturen können Schülerinnen und Schüler unabhängig voneinander erfolgreich lernen (HASSELHORN, GOLD 2009, S. 285 f.). JOHNSON und JOHNSON (1994) schreiben der kompetitiven Zielstruktur positive Effekte zu, da der Gesamterfolg an dem Erfolg jedes einzelnen Gruppenmitglieds hänge. Fünf Basismerkmale charakterisieren das kooperative Lernen: a) positive Interdependenz (entspricht der kompetitiven Zielstruktur), b) individuelle Verantwortlichkeit (der Beitrag jedes Einzelnen zum zielführenden Ergebnis muss erkennbar sein, damit es keine Rollenverteilung auf passiver und aktiver Basis gibt), c) förderliche Interaktionen (Aufgabenspezialisierung darf nicht zur Aufgabenteilung werden), d) kooperative Arbeitstechniken (setzt kommunikative Fertigkeiten und Fähigkeiten zur Konfliktbewältigung vor-

aus), e) reflexive Prozesse (konstruktiver Austausch über Gruppenprozesse) (HASSELHORN, GOLD 2009, S. 286 ff.).

Die Lernumgebung soll anhand realer Probleme und authentischer Situationen konzipiert werden. Dadurch wird Betroffenheit erzeugt und so die Motivation der Schülerinnen und Schüler gefördert (MANDL 2003, S. 10). Authentische Probleme fördern die Anschlussfähigkeit des Gelernten im späteren Leben. MANDL (2003) nennt zur Schaffung situierten Lernumgebungen u. a. das Schülerexperiment an Stelle des Lehrerdemonstrationsversuchs, reale Themen und Probleme ohne eine „Aneinanderreihung von Fachinhalten“ (MANDL 2003, S. 11), Beteiligungsrituale und Handlungsorientierung (MANDL 2003, S. 11). Dabei ist es wichtig, die Inhalte auf multiple Kontexte transferieren zu können, um zu vermeiden, dass das Gelernte auf einem Inhalt fixiert bleibt (MANDL 2003, S. 10f.).

MAYER und ZIEMEK (2006) führen im Kontext des problemorientierten Lernens aus biologiedidaktischer Perspektive an, dass häufig ein synonyme Gebrauch zu den Begriffen entdeckendes Lernen, forschendes Lernen (inquiry learning) bzw. forschend-entwickelndes Lernen erfolgt. Dem entdeckenden Lernen wird die selbstständige Suche von Informationen und dem damit einhergehenden aktiven Konstruieren von Wissen zugesprochen. Im naturwissenschaftlichen Unterricht erfolgt dies in der Regel durch naturwissenschaftliche Untersuchungen wie die Methoden Beobachtung und Experiment. Das forschende Lernen ist nach MAYER und ZIEMEK (2006) eine Lernaktivität, bei der die Schülerinnen und Schüler Inhalte und Methoden durch wissenschaftliche Erkenntnisprozesse erlernen. Das kreative Auffinden von Lösungsstrategien rückt in den Fokus, um neben neuen Fähigkeiten auch Wissen zu erwerben. Elemente des forschenden Lernens sind Problemorientierung, eigenständiges, offenes Lernen, kooperatives Lernen und Lernen in Kontexten (MAYER, ZIEMEK 2006, S. 7). MAYER (2007) konzipierte für diese naturwissenschaftliche Problemlösung ein Kompetenzmodell, das von GRUBE (2010) empirisch überprüft wurde.

KÖHLER (2012) definiert die Ausgangssituation des Problemlöseprozesses aus der Perspektive der Biologiedidaktik dadurch, dass der Weg zum Erreichen des Ziels zunächst unklar sei. „Erst durch die Analyse der Komplexität des Sachverhalts, das Erkennen der Dynamik des Zusammenhangs und der Vernetzung der Systembeziehungen [...] wird die Durchschaubarkeit und eine durchdachte Beeinflussung der Situation ermöglicht“ (KÖHLER 2012, S. 125). Im problemlösenden Unterricht wird nach KÖHLER (2003) zunächst eine gemeinsame Fragestellung als Ausgangspunkt formuliert. Die Schülerinnen und Schüler setzen sich mit dem Problem und der Frage auseinander und werden zu selbstständigem Denken und Arbeiten angeregt (KÖHLER 2012, S. 125). BERCK und GRAF (2010) fordern anschließend die Formulierung von Hypothesen (argumentativ geleitet) sowie die Überprüfung der Fragen bzw. Hypothesen mit entsprechenden Materialien (BERCK, GRAF 2010, S. 91).

Aus physikdidaktischer Perspektive sollen die Lernenden an naturwissenschaftliche Problemlösekompetenzen herangeführt werden, die über das deklarative Wissen hinausgehen. Eine explorative Lernumgebung wird gefordert (FISCHER, DRAXLER 2007, S. 643), d. h. eine aktivierende Lernsituation, die Möglichkeiten zur Selbststeuerung ermöglicht.

In der Geographiedidaktik wird das problemlösende Lernen als die „wahrscheinlich notwendigste Qualifikation für eine ungewisse Zukunft“ (RINSCHÉDE 2007, S. 67) beschrieben. Ziel ist die Förderung von Schlüsselqualifikationen, um Probleme (z. B. Umwelt- und Ressourcengefährdungen) zukünftig bewältigen zu können. Charakteristisch ist dabei das Prinzip des entdeckenden Lernens, d. h. aktiv konstruiertes Wissen, das die Basis darstellt und beim problemorientierten Lernen dadurch erweitert wird, dass Neuleistungen von den Lernenden erwartet werden (RINSCHÉDE 2007, S. 67). Ein Problem liegt vor, das durch bekannte Verhaltensweisen nicht gelöst werden kann. Der Lösungsweg muss von den Schülerinnen und Schülern selbstständig entwickelt werden (RINSCHÉDE 2007, S. 67). In Anlehnung an das entdeckende und problemlösende Lernen benennt RINSCHÉDE (2007) die Elemente Selbstständigkeit, authentische Probleme (wirklichkeitsnahe Situationen), schülerkooperierende oder dialogische Aktionsformen. Weiterhin wird darauf verwiesen, dass Schülerinnen und Schüler über Voraussetzungen (Begriffe, Operationen, Methoden) verfügen müssen, um problemlösend lernen zu können. Der idealtypische Ablauf des problemlösenden Lernens erfolgt nach RINSCHÉDE (2007) anhand der Phasen: a) Erkennen des Problems, b) Hypothesenbildung, c) Lösungsstrategien, d) Problemlösung, e) Verifikation, Falsifikation oder Modifikation der Hypothesen, f) Reflexion der Gültigkeit der Problemlösung (RINSCHÉDE 2007, S. 67 f.). In der Phase Erkennen des Problems kommen wiederum die Erkenntnisse der pädagogischen Psychologie zum Tragen. Die Lernenden werden in die Situation versetzt, ein Ziel erreichen zu wollen, ein Problem zu lösen, dessen Zielerreichung unbekannt ist. Die Lernenden werden folglich im ersten Schritt mit einem authentischen Problem konfrontiert. Problemlösendes Lernen geht von Hypothesen aus, d. h. Vermutungen, die zum Problemlösen geeignet erscheinen. Die Hypothesen werden im zweiten Schritt formuliert. Dem schließt die Planung der Lösungsstrategie an, so dass die Durchführung der Problemlösung folgen kann. Die Problemlösung dient der Überprüfung der Hypothesen, indem Informationen eingeholt werden, die zur Bestätigung der Vermutungen herangezogen werden. Die Evaluierung der Informationen ist Grundlage der Hypothesenrevision, d. h. der Bestätigung (Verifizierung), Widerlegung (Falsifizierung) oder gegebenenfalls der Überdenkung und damit Modifikation der zuvor formulierten Hypothesen. In der abschließenden Phase wird die Gültigkeit der Problemlösestrategie reflektiert (RINSCHÉDE 2007, S. 67 f.). Zudem benennt RINSCHÉDE (2007) das problemorientierte entdeckende Lernen (entdeckendes Lernen als

Problemlösen). Durch ein Experiment kann dabei der selbstgesteuerte Erwerb von Wissen ermöglicht werden (RINSCHDE 2007, S. 66).

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass im Kontext der PISA-Studien eine verstärkte Problemorientierung im Unterricht gefordert wird. Ein Versuch zur Klärung der unscharfen Begriffsverwendung des entdeckenden, problemorientierten und forschenden Lernens kann anhand der jeweiligen Fachdisziplinen erfolgen. Das entdeckende Lernen wird insbesondere in der pädagogischen Psychologie (HASSELHORN, GOLD 2009, S. 262) verwendet und von MANDL (2003) anhand der Elemente a) aktiver, b) selbstgesteuerter, c) konstruktiver, d) situativer, e) sozialer Prozess charakterisiert. Aus biologiedidaktischer Perspektive erfolgt eine Abgrenzung hinsichtlich naturwissenschaftlicher Methoden mit dem Ziel, wissenschaftliche Erkenntnisprozesse und naturwissenschaftliche Problemlösekompetenzen zu fördern. Definiert unter dem Begriff forschendes Lernen, werden die Elemente Eigenständigkeit, Offenheit, kooperatives Lernen und Lernen in Kontexten aufgeführt (MAYER, ZIEMEK 2006, S. 7). Neben dem Erwerb von Problemlösestrategien soll das inhaltliche Wissen gefördert werden. RINSCHDE (2007) benennt im Zuge des entdeckenden und problemlösenden Lernens ebenfalls die Prinzipien der Selbstständigkeit, authentische Probleme sowie kooperative Arbeitsweisen. In Anlehnung an RINSCHDE (2007) wird in der vorliegenden Arbeit der Begriff problemlösendes Lernen verwendet, das durch die Elemente aktiv konstruierendes Lernen, selbstgesteuertes Lernen, kooperatives Lernen und situiertes Lernen gekennzeichnet ist (MANDL 2003, S. 10; MAYER, ZIEMEK 2006, S. 7; RINSCHDE 2007, S. 67; HASSELHORN, GOLD 2009, S. 262 ff.) (s. Abb. 2).

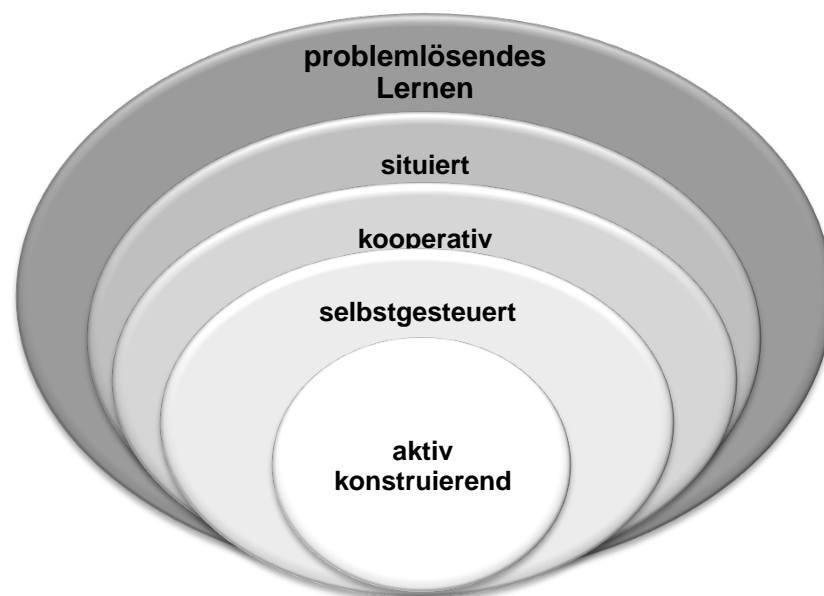


Abbildung 2: Prinzipien des problemlösenden Lernens (nach MANDL 2003, S. 10; MAYER, ZIEMEK 2006, S. 7; RINSCHDE 2007, S. 67; HASSELHORN, GOLD 2009, S. 262 ff.)

Im Folgenden werden die Eigenschaften des problemlösenden Lernens in Abgrenzung zum fragend-gelenkten Unterricht dargestellt (s. Tab. 2). Laut RINSCHEDÉ (2007) ist der fragend-gelenkte Unterricht das wichtigste Unterrichtsinstrument im regulären Unterricht (RINSCHEDÉ 2007, S. 230).

Tabelle 2: Problemlösendes Lernen und fragend-gelenkter Unterricht

| | problemlösendes Lernen | fragend-gelenkter Unterricht |
|-----------------|---|--|
| Einstieg | Problemeröffnung und Problemfindung, Verortung | informierender Unterrichtseinstieg, Verortung, Vorkenntnisse aktivieren, wiederholen |
| Steuerung | selbstständig und verstärkt selbstgesteuert | fremdgesteuert; Lehrer lenkt Denkprozesse der Lernenden |
| Instruktion | schrittweise Reduktion der (adaptiven) Instruktion, Anleitung, Hilfestellung und Vorgabe | direkte Instruktion, Anleitung und Darbietung durch die Lehrkraft |
| Lehrerverhalten | Lehrkraft übernimmt beratende Funktion | Lehrkraft übernimmt Kontrollfunktion |
| Kompetenzerwerb | entdeckend und konstruktivistisch; aktive und kooperative Konstruktion von Wissen und Problemlösestrategien | instruktional; passiver Erwerb kognitiven Wissens |

Beim problemorientierten Lernen dient der Einstieg der Eröffnung eines Problemfeldes. Dies steht im Kontrast zum fragend-gelenkten Unterricht, bei dem der Einstieg informierend den Unterrichtsinhalt widerspiegelt. Die Steuerungskomponente des problemlösenden Unterrichts basiert auf der Förderung der Selbstständigkeit mit dem Ziel, die Schülerinnen und Schüler zum selbstgesteuerten Lernen zu befähigen. Dabei müssen laut RINSCHEDÉ (2007) Begriffe, Methoden und Verfahren bekannt sein, um im offenen Unterricht problemlösend arbeiten zu können. Demnach werden zu Beginn Instruktionen erteilt. Durch Anleitung, Vorgabe und Hilfestellung werden die Lernenden mit Begriffen und Methode vertraut gemacht. Die anschließende schrittweise Reduktion der Anleitung soll Raum für eine Erhöhung der Selbstständigkeit ermöglichen. Der Kompetenzerwerb erfolgt fortan aktiv in kooperativen Arbeitsweisen, in denen die Lehrkraft eine beratende Rolle einnimmt. Dem problemlösenden Lernen steht der fragend-gelenkte Unterricht entgegen, der durch eine starke Kontrollfunktion seitens des Lehrers gekennzeichnet ist. Die Lehrkraft steuert den Denk- und Arbeitsprozess der Lernenden durch direkte Instruktion, hier steht der kognitive Lernprozess im Vordergrund und nicht das methodische Lernen. Charakteristisch ist beim fragend-gelenkten Unterricht die starke Fremdsteuerung der Lernenden durch die Lehrkraft (RINSCHEDÉ 2007, S. 230). In der vorliegenden Konzeption wird der fragend-gelenkte Unterricht durch vorstrukturierte Arbeitsblätter angeleitet und durch die Lehrkraft gelenkt. Die standardisierten Ar-

beitsblätter mit vorgefertigten Informations- und Fragepassagen sind notwendig, um die Ergebnisse der Vergleichsgruppen in inhaltlicher und zeitlicher Dimension kontrollieren zu können.

2.2.3 Stand der Forschung: Problemlösendes Lernen

In den letzten Jahrzehnten entstand eine breite Diskussion um die Effektivität des problemorientierten bzw. forschenden Lernens. Zahlreiche Studien liegen vor, von denen eine Auswahl im Folgenden vorgestellt wird.

Viele Studien bescheinigen dem problemlösenden Lernen einen positiven Lerneffekt hinsichtlich des Wissenserwerbs. Demnach zeigen HORWITZ ET AL. (1996) in ihrer Studie, dass Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe einen hohen Lernerfolg in problemorientierter Lernumgebung erzielen. Als Basis diente eine Lernsoftware zum Thema Genetik. Weiterhin untersuchten HANDELSMANN ET. AL (2004) die Effektivität von problemorientierten Lernumgebungen im Vergleich zu traditionellen anhand von Studierenden. Auch hier werden positive Effekte beim methodischen Kompetenzerwerb benannt. LYNCH ET. AL (2005) untersuchen Schülerinnen und Schüler (n = 2000) aus der Perspektive der Chemie und zeigen neben einem positiven Lerneffekt eine erhöhte Motivation der Lernenden durch problemlösendes Lernen. Ein positiver Wissenszuwachs durch problemlösendes Lernen wird von MERGENDOLLER ET AL. (2006) ermittelt. Lernende mit problemlösender Lernumgebung erzielten einen höheren Lernzuwachs als Schülerinnen und Schüler die mit dem traditionellen fragend-entwickelnden Ansatz unterrichtet wurden. HWANG ET. AL (2012) untersuchten in einem experimentellen Pre-/Post-Design mit Experiment- und Kontrollgruppe Schülerinnen und Schüler der 5. und 6. Klasse in Taiwan anhand eines webbasierten Computerspiels zur Ökologie von Schmetterlingen. Die Experimentalgruppe wurde auf Grundlage eines problemlösenden Computerspiels getestet, die Kontrollgruppe hingegen anhand eines konventionellen. Es wurden signifikante Unterschiede im Lernerfolg, der Einstellung und dem Interesse zu Gunsten der Experimentalgruppe im Posttest deutlich. Demgegenüber stehen die Auffassungen von AUSUBEL (1968, 1974), der u. a. die Benachteiligung leistungsschwacher Schülerinnen und Schüler benennt. SWELLER (1988, 2004) führt in seiner Cognitive Load Theory ebenfalls die Benachteiligung auf, da die Verarbeitung im Kurzzeitgedächtnis zur Überforderung leistungsschwacher Lernender führt. Demgegenüber belegt die Studie von LYNCH ET. AL (2005) gerade bei leistungsschwächeren Schülerinnen und Schülern einen positiven Lernerfolg. Auch die in der Biologiedidaktik begründete Interventionsstudie von HOF (2011), in der im Pre-/Post-Verfahren Schülerinnen und Schüler im forschenden Lernen bzw. fragend-entwickelnden Verfahren (Kontrollgruppe) unterrichtet wurden, zeigen leistungsstärkere Schülerinnen und Schüler keinen höheren Lernzuwachs gegenüber schwächeren Lernen-

den. Auch die Studie von WERNING und BANNACH (1994) zeigt einen positiven Lernerfolg durch entdeckendes Lernen bei sehr leistungsschwachen Schülerinnen und Schüler.

Im Zuge der kontroversen Diskussion um direkte Instruktion oder entdeckende problemorientierte Lernumgebungen bildeten sich zwei Fronten. KIRSCHNER ET. AL. (2006) sprechen sich für die direkte Instruktion und gegen offene, entdeckende Lernumgebungen aus. Einige Studien belegen die Annahme, dass direkte Instruktion zu einem höheren Lernerfolg führt. KLAHR und NIGAM (2004) sowie CHEN und KLAHR (1999) zeigen in ihren Studien positive Effekte für die direkte Instruktion hinsichtlich des Erwerbs wissenschaftsmethodischer Kompetenzen. Andere Studien zeigen hingegen positive Effekte für offene im Vergleich zu angeleiteten Lernumgebungen (HOF 2011). SADEH und ZION (2012) untersuchten angeleitete und offene Situationen des forschenden Lernens. Dabei werden als signifikante Ergebnisse genannt, dass die in offenen Lernumgebungen unterrichteten Schülerinnen und Schüler mehr Zeit in den konzeptionellen (Auswahl treffen, Fragestellung formulieren, Planung eines Experiments) sowie praktischen Phasen (Durchführung des Experimentes) verwendet haben. Die angeleitet unterrichteten Lernenden empfanden hingegen den zeitlichen Aufwand zur Dokumentation und Datenauswertung am intensivsten.

Zum forschenden Lernen liegen weitere zahlreiche Befunde vor. SIMSEK und KABAPINAR (2010) untersuchten an einer Grundschule in Istanbul (grade 5) 29 Schülerinnen und Schüler im Alter von 10 bis 11 Jahren. In einer Interventionsstudie wird der Effekt von forschendem Lernen auf das konzeptuelle Verständnis, das Verständnis der wissenschaftlichen Fähigkeiten sowie der Einstellung untersucht. In einem Pre-/Post-Design werden nach einer achtwöchigen Intervention signifikante Unterschiede im konzeptionellen Verständnis sowie den wissenschaftlichen Fähigkeiten deutlich. Eine signifikante Einstellungsänderung wird nicht festgestellt.

Aus geographiedidaktischer Perspektive analysieren FAVIER und V.D. SCHEER (2012) in den Niederlanden Strategien zum forschenden Lernen. Innerhalb der Unterrichtseinheit ‚Dienstleistung und Kunden‘ wurden Schülerinnen und Schüler unter Anwendung von Geoinformationssystemen aufgefordert, ökonomische Einflussgrößen auf ausgewählte Märkte zu untersuchen. Die Befunde zeigen, dass die Probanden mit der systematischen Konstruktion des Vorgehens Probleme haben. Schwierigkeiten in den Teilbereichen Fragestellungen und Hypothesen generieren, geographische Datensammlungen planen, graphische Darstellungen und Datenauswertung werden deutlich. Eine logische Planung ist nicht erkennbar, schwache Fragestellungen und Hypothesen liegen vor. Das systematische Vorgehen in Form von forschenden Projekten mit Geoinformationssystemen ist keine den Probanden bekannte Methode aus dem Geographieunterricht (FAVIER, V.D. SCHEER 2012, S. 674).

2.3 Kompetenzmodelle

Kompetenzentwicklungsmodelle ermöglichen die Förderung von Kompetenzen über mehrere Jahre hinweg planen und evaluieren zu können. Dadurch kann der Kompetenzzuwachs operationalisiert werden. Es wird zwischen Kompetenzentwicklungsmodellen und Kompetenzstrukturmodellen unterschieden (SCHECKER, PARCHMANN 2006, S. 47). Ein Kompetenzstrukturmodell stellt die Gesamtkategorie der erworbenen oder zu erwerbenden Kompetenzen und ihre Graduierung dar. Das Kompetenzentwicklungsmodell dient dazu, Annahmen darüber zu machen, wie sich Kompetenzstrukturen herausbilden. Kompetenzen bestehen aus einzelnen Teilkompetenzen, die in einem Kompetenzentwicklungsmodell differenzierte und separierte Betrachtung finden. Die Teilkompetenzen erfahren eine hierarchische Stufung. Diese „geben Auskunft über Kompetenzverläufe, also gestufte Fähigkeiten und damit Grade der Entwicklung von Kompetenzen“ (HAMMANN 2004, S. 196). Um beispielsweise lernpsychologische Voraussetzungen oder Lernschwierigkeiten mit aufgreifen zu können, werden bei der Entwicklung empirische Untersuchungen aus der allgemeinen Pädagogik, Entwicklungspsychologie und pädagogischen Psychologie mit einbezogen (HAMMANN 2004, S. 196). Im Folgenden werden ausgewählte Kompetenzmodelle aus den Fachdidaktiken der Naturwissenschaften gesichtet und aufgezeigt. Eine Selektion im Vorfeld erfolgt mit Blick auf solche Modelle, die für die vorliegende Arbeit essentielle und an den Kompetenzen des Experimentierens orientierte Strukturen darstellen. Ziel ist es, entsprechende Teilkompetenzen zur empirischen Erhebung für die vorliegende Arbeit herauszuarbeiten.

Kompetenzen zur naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung werden international als Scientific Literacy oder Nature of Science bezeichnet. Weiterhin werden in Deutschland die Begriffe Wissenschaftspropädeutik, wissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen oder Erkenntnisgewinnung verwendet. Schüler sollen lernen, „wie naturwissenschaftliche Erkenntnisse gewonnen werden und was naturwissenschaftliche Methodik und Aussage charakterisiert“ (MAYER 2007, S. 176).

Kompetenzentwicklungsmodelle gestalten den möglichen Erwerb der Erkenntnisgewinnung (Scientific Literacy) vom Niveau der alltäglichen Vorstellungen über Fähigkeitsniveaus hin zu einem „differenzierten Umgang mit naturwissenschaftlichen Konzepten und Methoden“ (HAMMANN 2004, S. 197). Weiterhin verdeutlichen sie die Differenzierung der wissenschaftlichen Grundbildung (Scientific Literacy) in Kompetenzen und ihrer Stufungen. Die Fachdidaktiker differenzieren weiter, bezogen auf ihr Fach, und erstellen damit Entwicklungsmodelle für die elementaren naturwissenschaftlichen Kompetenzen. Ziel ist es, empirisch gesicherte Erkenntnisse über die Kompetenzstrukturen zu erlangen, gegebenenfalls Lücken zu schließen und dadurch die didaktische Forschung weiterzuentwickeln (s. Tab. 3) (HAMMANN 2004, S. 197).

Im Rahmen der empirischen Lehr- und Lernforschung gibt es bislang keine empirischen Erhebungen aus dem Fachbereich der Geographiedidaktik bezüglich Problemlösen und Experimentieren sowie der Möglichkeit der kompetenzorientierten Förderung. Ein konzeptioneller Ansatz für ein geographisches Theoriemodell, basierend auf vier Teilkompetenzen, liegt hingegen vor (OTTO ET AL 2010, S. 133 ff.).

Tabelle 3: Übersicht der Theoriemodelle zur Kompetenzentwicklung des Experimentierens/Erkenntnisgewinnung (verändert nach OTTO ET AL. 2010, S. 142)

| Theorie/Modell | Kompetenzen |
|--|---|
| SDDS-Modell nach DUNBAR/KLAHR (1998) | <ul style="list-style-type: none"> ○ Suche im Hypothesen-Suchraum (Hypothesen generieren) ○ Suche im Experimentier-Suchraum (Testen der Hypothesen) ○ Analyse von Daten |
| Theorie des Problemlösens nach GOTT/DUGGAN (1998) | <ul style="list-style-type: none"> ○ Planung des Experiments ○ Datenerhebung ○ Datenanalyse und -interpretation |
| Standards nach DfEE/QCA (1999) und NRC (1996) | <ul style="list-style-type: none"> ○ Fragestellung entwickeln ○ Planung des Experiments ○ Datenerhebung ○ Datenanalyse und -interpretation |
| Kompetenzentwicklungsmodell nach HAMMANN (2004) | <ul style="list-style-type: none"> ○ Suche im Hypothesen-Suchraum (Hypothesen generieren) ○ Suche im Experimentier-Suchraum (Planung von Experimenten) ○ Analyse von Daten |
| naturwissenschaftliches Strukturmodell zur Erkenntnisgewinnung nach MAYER (2007) und MAYER ET AL. (2009) | <ul style="list-style-type: none"> ○ naturwissenschaftliche Frage formulieren ○ Hypothesen generieren ○ Untersuchung planen ○ Daten analysieren/Rückschlüsse ziehen |
| ESNaS- Kompetenzmodell nach WALPULSKI ET AL. (2008) und BERNHOLT ET AL. (2009) | <ul style="list-style-type: none"> ○ Kompetenzbereiche ○ kognitive Prozesse ○ Komplexität |
| Theoriemodell des geographischen Experiments OTTO, MÖNTER, HOF & WIRTH (2010) | <ul style="list-style-type: none"> ○ Fragestellung formulieren ○ Hypothesen generieren ○ Experiment planen ○ Daten analysieren/Schlussfolgerungen ziehen |

NEWELL und SIMON (1972) konstruieren eine Theorie des Problemlösens, die auf zwei Prozessen – Verstehensprozess und Suchprozess – und einem Problemraum beruhen (BETSCH ET AL. 2011, S. 181). Der Problemraum wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst, wie Instruktionen, Vorerfahrung u. a. (BETSCH ET AL. 2011, S. 182). SIMON und LEA (1974) differenzieren den Problemraum in ihrer Zwei-Räume-Theorie in einen Regel- und einen Instanzenraum. Der Regelraum enthält alle Regeln zu einer Aufgabe, der Instanzenraum hingegen die Zustände (FUNKE 2003, S. 67). KLAHR und DUNBAR (1988) entwickeln das SDDS-Modell

(Scientific Discovery as Dual Search), das die Basistheorie des entdeckenden Lernens darstellt. In Anlehnung an die Zwei-Räume-Theorie definieren sie den Experimente- und Hypothesenraum. Beide Räume interagieren und stehen damit in Abhängigkeit zueinander. Im Hypothesenraum werden Hypothesen generiert, hinsichtlich Eingangs- und Ausgangsvariablen verändert und ggf. wieder verworfen. „Aktivitäten im Hypothesenraum lösen Operationen im Experimenterraum aus“ (FUNKE 2003, S. 68). Im Experimenterraum erfolgt die Planung des Experimentes auf Grundlage der Hypothesenüberprüfung bzw. Operatorenanwendungen, um rückwirkend Generalisierungen abzuleiten. Zusammenfassend können nach der Theorie drei Teilkompetenzen beschrieben werden, bei denen das Formulieren der Hypothesen als erster Schritt des Problemlöseprozesses definiert ist: a) Hypothesen generieren (Suche im Hypothesenraum), b) Variablen identifizieren (Testen der Hypothesen), c) Daten interpretieren.

Die Recherche internationaler Curricula verdeutlicht, dass die u. a. von KLAHR und DUNBAR (1988) aufgeführten Kompetenzen des Experimentierens Berücksichtigung finden. In den Standards nach DfEE/QCA (Department For Education and Employment/Qualifications and Curriculum Authority England) und NRC (National Research Council USA) wird neben den drei aufgeführten Teilkompetenzen der Kompetenz Fragestellung formulieren eine Bedeutung zugemessen. Im National Curriculum for primary teachers England wird die Kompetenz Fragestellung formulieren (DfEE/QCA 1999, S. 78) konkret benannt, sowie auch in den National Science Education Standards Washington (NRC 1996).

Ein weiteres Modell stellt das ESNaS-Kompetenzmodell (Evaluation der Standards für die Naturwissenschaften in der Sekundarstufe I) nach WALPULSKI ET AL. (2008) und BERNHOLT ET AL. (2009) dar. Die Evaluation der Standards in den Naturwissenschaften für die Sekundarstufe I wird von den Mitgliedern des Instituts zur Qualitätsentwicklung im Bildungswesen (IQB) gesteuert. Mit dem Ziel, die Aufgabenqualität für die Fächer Biologie, Chemie und Physik zu optimieren, werden Lehrerinnen und Lehrer aus verschiedenen Bundesländern sowie Fachdidaktikerinnen und Fachdidaktiker unterschiedlicher Universitäten mit dem Auftrag betraut, für die vier Kompetenzbereiche (Fachwissen, Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung) Aufgaben zu entwickeln (WALPUSKI ET AL. 2008, S. 323). Auf Grundlage dieser Aufgaben werden Testaufgaben zur Überprüfung der Bildungsstandards in den Fächern Biologie, Chemie und Physik entwickelt (WALPUSKI ET AL. 2010, S. 173).

Das Kompetenzstrukturmodell besteht aus drei Achsen: (1) Kompetenzbereiche, (2) kognitiver Prozess und (3) Komplexität. (1) In den Nationalen Bildungsstandards werden vier Kompetenzbereiche (Fachwissen, Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung) beschrieben. Die Evaluierung erfolgt durch Testaufgaben. (2) Die kognitiven Prozesse beschreiben, welche Tätigkeit bei der Lösung der Aufgaben ausgeführt werden muss. Dabei

werden vier kumulative Stufen unterschieden (reproduzieren, selektieren, organisieren und integrieren). (3) Die Komplexität beschreibt, „welchen Umfang die zu bearbeitenden Inhaltsstrukturen haben“ (WALPUSKI ET AL. 2010, S. 176). Das Niveau steigt von Stufe I (ein Fakt), zu Stufe II (zwei Fakten), Stufe III (ein Zusammenhang), Stufe IV (zwei Zusammenhänge) bis Stufe V (übergeordnetes Konzept). Das Modell unterscheidet sich von den anderen, da es im Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung weitere Arbeitsweisen impliziert (OTTO ET. AL 2010, S. 142)

2.3.1 Kompetenzentwicklungsmodell nach HAMMANN (2004)

HAMMANN (2004) differenziert in Anlehnung an KLAHR (1988) drei Kompetenzbereiche des Experimentierens:

- a) Suche im Hypothesen-Suchraum (Hypothesen generieren),
- b) Suche im Experimentier-Suchraum (Planung eines Experiments),
- c) Analyse von Daten (Daten auswerten).

Die Suche im Hypothesen-Suchraum wird durch den Faktor des Hypothesengenerierens definiert. Gemeint sind „Aspekte des Aufstellens, Verfeinerns und Revidierens [...] auf der Grundlage domänenspezifischen Vorwissens“ (HAMMANN 2004, S. 198) bzw. aus Daten, die aus Beobachtungen gezogen werden. Weiterhin erfolgt die Prüfung der Plausibilität der Hypothesen unter Einbezug von Vorwissen und kausalen Mechanismen (HAMMANN 2004, S. 198).

Der Suche im Hypothesen-Suchraum folgt die Planung des Experimentes, welche die Überprüfung der Hypothesen ermöglichen muss. Bezeichnend ist dabei der „Umgang mit Variablen [...], um Daten hervorzubringen, die in Bezug auf die eingangs gestellten Hypothesen zweifelsfrei interpretierbar sind“ (HAMMANN 2004, S. 199). Domänenübergreifendes sowie spezifisches Wissen sind notwendig, um einerseits die Variablen zu variieren, deren Einfluss und ursächliche Wirkung vermutet wird. Andererseits ist das Wissen darüber notwendig, dass auch Daten erhoben werden, die eine nicht bestätigende Wirkung aufweisen. Domänenspezifisches Wissen bezeichnet das Wissen darüber, allgemeine Strategien bei der Experimentplanung zu beachten und inhaltliche Besonderheiten zu bedenken. Zu nennen ist „das Überprüfen des Effekts jeder einzelnen manipulierten Variable, [die] ineffektiv oder irrelevant ist“ (HAMMANN 2004, S. 199).

Die Datenanalyse erfolgt auf theoretischen Annahmen und der „Einschätzung zwischen erwartetem Resultat und ermittelter Evidenz“ (HAMMANN 2004, S. 199). Außerdem kommt es zur Vermittlung zwischen den Phasen. Bei Falsifizierung der aufgestellten Hypothesen bedarf es einer erneuten Suche im Hypothesen-Suchraum, das heißt Formulierung neuer

Hypothesen sowie der Planung eines neuen Experiments. Eine Fehleranalyse sowie Bewertung der Vertrauenswürdigkeit der Daten erfolgt (HAMMANN 2004, S. 199).

Die Kompetenzniveaus der drei Teilkompetenzen definiert HAMMANN (2004) in vier Stufen (s. Tab. 4 bis 6).

Tabelle 4: Kompetenzstufen bei der Suche im Hypothesen-Suchraum (HAMMANN 2004, S. 200)

| Stufe | Kompetenzniveau | Nähere Beschreibung | Alter |
|-------|---|---|-------------|
| 1 | keine Hypothesen beim Experimentieren | Es wird ohne Hypothesen experimentiert, das heißt, Lernende führen Experimente aus, ohne Vermutungen über Ursache Wirkungs-Beziehungen zu haben; sie versuchen, einen Effekt zu erzielen. Dieser Mangel an Wissen über die Notwendigkeit von Hypothesen resultiert in einem unsystematischen Durchsuchen des Experimentier-Suchraums. | Primarstufe |
| 2 | unsystematische Suche nach Hypothesen | Es wird hypothesengeleitet experimentiert, jedoch werden nicht alle Hypothesen herangezogen, die für die Beantwortung einer Fragestellung beachtet werden müssen oder bei der Suche nach Hypothesen werden diese nicht logisch aufeinander bezogen. | Klasse 5 |
| 3 | systematische Suche nach Hypothesen | Es werden multiple Hypothesen gebildet, die logisch aufeinander bezogen werden. Probleme bereitet jedoch die Hypothesenrevision. | Klasse 5 |
| 4 | systematische Suche nach Hypothesen und erfolgreiche Hypothesenrevision | Wie Stufe 3, jedoch gelingt auch die Hypothesenrevision in Situationen, in denen alle bereits getesteten Hypothesen falsifiziert wurden. | Klasse 7 |

Tabelle 5: Kompetenzstufen bei der Suche im Experimentier-Suchraum (HAMMANN 2004, S. 200)

| Stufe | Kompetenzniveau | Nähere Beschreibung | Alter |
|-------|--|---|-------------|
| 1 | unsystematischer Umgang mit Variablen | Lernende verändern die Ausprägung(en) einer oder mehrerer Variablen ohne System, so dass keine schlüssigen Aussagen über die vermuteten Ursache-Wirkungs-Beziehungen möglich sind. Oft werden alle Variablen von einem Testansatz zum anderen verändert, eine Strategie, die Variablen konfundiert und mit change all, no plan und intuitive bezeichnet wird. | Primarstufe |
| 2 | teilweise systematischer Umgang mit Variablen | Obwohl ein gegenüber Stufe 1 systematisches Vorgehen zu beobachten ist, liegen Defizite vor, welche die systematische Variation einer Variable und die fehlende Kontrolle der anderen Variablen betreffen. | Klasse 5 |
| 3 | systematischer Umgang mit Variablen in bekannten Domänen | Lernende variieren lediglich die Ausprägung der Testvariable und halten die Ausprägung der übrigen Variablen konstant. Diese Vorgehensweise erlaubt es, eindeutige Aussagen über die Wirkweise einer bestimmten Variable zu treffen und die Wirkung anderer Variablen auf den zu erklärenden Zusammenhang auszuschließen. | Klasse 5 |
| 4 | systematischer Umgang mit Variablen in unbekannten Domänen | Wie in Stufe 3 variieren Lernende lediglich die Ausprägung der Testvariable und halten die Ausprägung der übrigen Variable konstant. Jedoch gelingt die Anwendung dieser allgemeinen Strategie im Unterschied zur Stufe 3 auch in Wissensdomänen, in denen wenig oder kein Vorwissen besteht. | Klasse 6 |

Tabelle 6: Kompetenzstufen bei der Analyse von Daten (HAMMANN 2004, S. 200)

| Stufe | Kompetenzniveau | Nähere Beschreibung | Alter |
|-------|---|--|-------------|
| 1 | Daten werden nicht auf Hypothesen bezogen | Beobachtete Effekte werden beschrieben, aber nicht Ursachen erklärt. Defizite beruhen auf einem mangelnden Verständnis der Ziele der Datenerhebung beim Experimentieren. | Primarstufe |
| 2 | unlogische Analyse der Daten | Lernende beziehen Daten auf Hypothesen, ziehen jedoch unlogische Schlüsse, z. B. durch nichtbeachten deutlicher Kontraste zwischen Experimentalansatz und Kontrollansatz. Beim Erklären der Ergebnisse eines Experimentes treten Widersprüche auf, Hypothesen werden gewechselt bzw. beibehalten, obwohl die Datenlage dieses nicht zulässt. | Klasse 5 |
| 3 | weitgehend logische Analyse der Daten, jedoch Probleme bei der Bewertung von Daten, die den eigenen Erwartungen widersprechen | Lernende erklären Daten auf logisch konsistente Weise in den meisten experimentellen Situationen. Schwierigkeiten bereitet jedoch der Umgang mit Anomalien, also Daten, die den eigenen Erwartungen widersprechen und die häufig ignoriert oder fehlinterpretiert werden. | Klasse 6 |
| 4 | Daten werden in adäquater Weise zur Überprüfung von Hypothesen herangezogen | Lernenden gelingt die Analyse von Daten selbst dann, wenn diese aufgrund inhaltlicher Erwartungen oder Bedingungen der Datenerhebung (z. B. kontinuierliche Variablen mit kleinen Unterschieden oder Messfehlern) schwierig zu interpretieren sind. | Klasse 7 |

2.3.2 Naturwissenschaftliches Strukturmodell zur Erkenntnisgewinnung nach MAYER (2007)

MAYER (2007) definiert aus biologiedidaktischer Perspektive die Güte der Problemlösung naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung als ein Zusammenspiel der Qualitäten des komplexen Prozesses, der Personenvariablen und Situationsvariablen. Das daraus resultierende Strukturmodell (s. Abb. 3) bedarf einer Bestätigung anhand definierter Konstrukte. MAYER (2007) erweitert das Modell um das Konstrukt Fragestellung formulieren, so dass sich vier Teilkompetenzen ergeben: Fragestellung formulieren, Hypothesen generieren, Planung eines Experiments und Daten auswerten/Schlussfolgerungen ziehen. Empirische Untersuchungen ergaben folgende Befunde für Personen-, Situations- und Prozessvariablen.

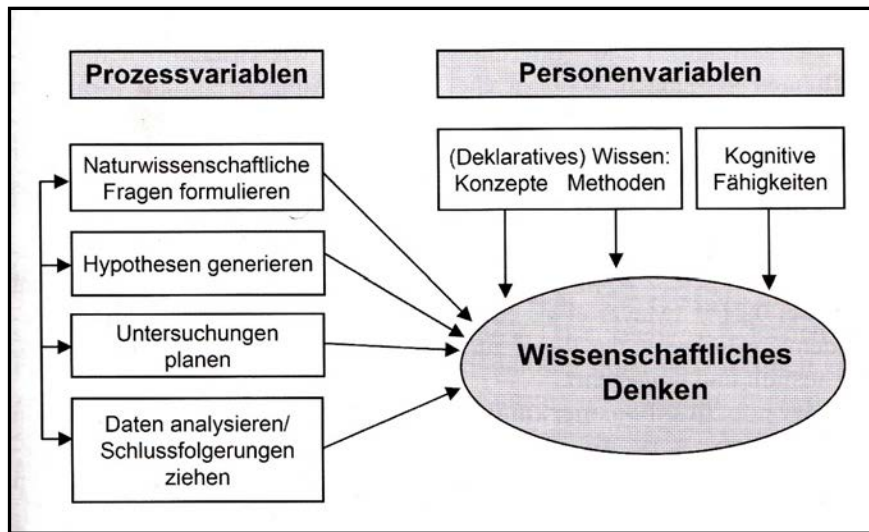


Abbildung 3: Strukturmodell zum wissenschaftlichen Denken (scientific reasoning) (MAYER 2007, S. 181)

Für die Prozessvariablen wurden in Studien (KUHN ET AL 1988; MAYER ET AL. 2007 aus MAYER 2007) signifikante Zusammenhänge zwischen der Problemlösefähigkeit und dem konzeptuellen Vorwissen deutlich. Wissen erweist sich dabei als träger Faktor (HASSELHORN 2009, S. 272), der in der Problemsituation nicht genutzt wird. Die Schüler neigen zur Verwendung von Alltagserfahrungen und weniger zur Verbindung zwischen Fragestellung mit Beobachtungen oder Erklärungen. Deklarative Vereinfachung bei kognitiver Überforderung folgt. Weiterhin werden leichte Korrelationen im Bereich Methodenverständnis und Problemlösekompetenz aufgezeigt. Tendenzen zeigen, dass bei höherer Methodenkompetenz die Problemlösekompetenz höher ausfällt, ebenso im umgekehrten Fall (MAYER 2007).

Situationsmerkmale sind insbesondere durch die Präsentationsart geprägt. Offene Aufgaben, multiple choice oder praktische Experimentieraufgaben wurden dabei angewendet. Untersuchungen von MAYER ET AL. (2007, aus MAYER 2007) ergeben jedoch, dass bei Variation der Aufgaben im Format bei gleichem Inhalt zwar Unterschiede im Schwierigkeitsindex vorhanden sind, es aber zu prinzipiell gleichen Befunden kommt. Deutlicher werden die Unterschiede in offenen und kollaborativen Experimentieraufgaben. Bei offenen Problemsituationen ist das Vorgehen beim Experimentieren unsystematisch. „Beobachtung und Vermutung ziehen nur selten experimentelle Fragestellungen und Versuchsplanungen nach sich“ (MAYER 2007, S. 182). Oftmals werden kurze, pragmatische Lösungen gesucht, d. h. die Lernenden gehen nach der Methode trial-and-error vor. Im kollaborativen Kontext werden höhere Leistungen erzielt, die allerdings von der sozialen Dynamik überlagert werden können (MAYER 2007, S. 182).

Die Prozessvariablen werden durch die Anwendung und Umsetzung der einzelnen Teilkompetenzen des Experimentierens deutlich und bestehen aus den Teilkompetenzen naturwissenschaftliche Frage formulieren, Hypothesen generieren, Planung eines Experiments und Daten auswerten/Schlussfolgerungen ziehen. Demnach beschreibt MAYER (2007) vier Teilkompetenzen, die in der Folgestudie von GRUBE (2010) empirisch evaluiert wurden.

Zusammenfassend wird festgehalten, dass die Teilkompetenzen in den verschiedenen Modellen zwischen drei und vier variieren. Weitestgehende Übereinstimmungen bestehen bezüglich der Teilkompetenzen Hypothesen generieren, Planung eines Experiments sowie Daten auswerten. Der Teilkompetenz Fragestellung formulieren wird von einigen Autoren eine besondere Bedeutung zugesprochen (MAYER ET. AL 2008, Grube 2010). Weitere Modelle berücksichtigen die Teilkompetenz Fragestellung formulieren hingegen nicht (KLAHR, DUNBAR 1998; GOTT, DUGGAN 1998, HAMMANN 2004). Offen bleibt demnach die Frage hinsichtlich der Bedeutung der Fragestellung für das geographische Experiment sowie der Transferierung der aufgeführten Theoriemodelle auf die Geographiedidaktik.

OTTO ET. AL. (2010) argumentiert auf inhaltlich-thematischer Grundlage, wonach der Formulierung einer Fragestellung eine besondere Bedeutung zukommt. Begründet wird dies mit der Stellung des Faches als Brückendisziplin der Natur- und Gesellschaftswissenschaften und der fachlichen Auseinandersetzung mit den Wechselwirkungen zwischen Natur und Gesellschaft. Um gesellschaftlich relevante Probleme mit der naturwissenschaftlichen Methode des Experimentierens erarbeiten und Lösungsstrategien entwickeln zu können, muss eine spezifische Fragestellung am Anfang formuliert werden, die mögliche Erklärungen oder Lösungen für das gesellschaftliche Problem beinhaltet und auf Grundlage derer die Entwicklung einer naturwissenschaftlich-experimentellen Lösungsstrategie ermöglicht wird. Die Formulierung einer Fragestellung zu Beginn des Experiments wird als elementar für das geographische Experiment benannt (OTTO ET. AL. 2010, S. 142 f.). Auf Grundlage der empirischen Studien (MAYER ET. AL 2008, GRUBE 2010) sowie der Beurteilung von OTTO ET. AL. (2010) bezüglich des geographischen Experimentes wird in der vorliegenden Arbeit von vier Teilkompetenzen ausgegangen: a) Fragestellung formulieren, b) Hypothesen generieren, c) Planung eines Experiments, d) Daten auswerten.

Zur Teilkompetenz d) werden in der Literatur verschiedene Begrifflichkeiten verwendet. Diese variieren zwischen „Analyse von Daten“ (HAMMANN 2004, S. 202) bzw. „Evidenzen analysieren“ (HAMMANN 2007, 36 ff.), „Deutung“ (GRUBE 2010, S. 5 ff.) und „Daten auswerten“ (HOF 2011, S. 62). In der vorliegenden Forschungsarbeit wird der Begriff – Daten auswerten – für die abschließende Analyse der Beobachtungen (Teilkompetenz d) verwendet. Bei Zitaten werden ggf. die von den Autoren verwendeten Begriffe aufgeführt.

2.4 Experimentieren im Geographieunterricht

Der Begriff Experiment wird in den Wissenschaften vielfach definiert. Im Folgenden wird auf die Definitionen und Kriterien der Geographiedidaktik eingegangen.

2.4.1 Kriterien eines geographischen Experiments

BREITBACH (1999) definiert das Experiment als „ein Verfahren zur überprüfaren Ermittlung von Einsichten in einen geographisch relevanten, regelhaften und meist auf Naturphänomene bezogenen Vorgang. Dieser wird zunächst isoliert, künstlich an einem Modell oder geeigneten Objekt erzeugt, dann beobachtet und anschließend erklärt“ (BREITBACH 1999, S. 41). LETHMATE (2006) schärft die Definition: „Experimente sind Mittel zur empirischen Erkenntnisgewinnung. Experimentieren heißt [...] angemessene und eindeutige Fragen an die Natur stellen, experimentieren ist das Fortführen von Beobachtungen unter künstlich veränderten und kontrollierten Bedingungen [...]. Einzelne Einflussfaktoren eines Vorgangs werden isoliert, systematisch variiert und kontrolliert. Ein Experiment erfordert demnach drei Kriterien: (1) Beobachtung unter künstlich hergestellten Bedingungen, (2) Isolation, (3) Variation“ (LETHMATE 2006, S. 5). LETHMATE (2006) führt explizit drei Kriterien für ein Experiment an, die auch in der Definition von OTTO (2009) genannt werden: „Ein Experiment ist eine planmäßige, grundsätzlich wiederholbare Beobachtung von natürlichen und auch gesellschaftlichen Vorgängen unter künstlich hergestellten, möglichst veränderbaren Bedingungen. Es verfolgt den Zweck, durch Isolation, Kombination und Variation von Bedingungen eines Phänomens bzw. Objekts reproduzierbare und kontrollierbare Beobachtungen zu gewinnen, aus denen sich Regelmäßigkeiten und allgemeine Gesetzmäßigkeiten ableiten lassen. Ein Experiment kann beliebig oft wiederholt werden“ (OTTO 2009, S. 4). Demnach erweitert OTTO (2009) die Kriterien eines Experiments. Er benennt die (4) Reproduzierbarkeit, d. h. die Wiederholbarkeit der Experimentiererergebnisse bei gleichen Bedingungen, (5) Kontrollexperimente zur Vermeidung konkurrierender Erklärungen sowie (6) das Aufdecken kausaler Wirkungszusammenhänge zur Ableitung von Regelmäßigkeiten und allgemeinen Gesetzmäßigkeiten (OTTO 2009, S. 4 f.). Weiterhin werden zwei thematische Anwendungsgebiete differenziert: „In der Regel sind naturwissenschaftliche Experimente im Geographieunterricht dadurch gekennzeichnet, dass sie a) explizite geographische und andere geowissenschaftliche Aspekte und Prozesse untersuchen und/oder b) maßgeblich physikalische, chemische und biologische Phänomene thematisieren, die aus dem Kontext einer geographischen (chronologischen), gesellschaftlich relevanten Problemstellung erwachsen“ (OTTO ET AL. 2011, S. 101). Ein naturwissenschaftlich-geographisches Experiment kann demnach entweder direkt einen geographischen Sachverhalt behandeln oder es besteht die Möglichkeit durch beispielsweise chemische oder physikalische Gesetzmäßigkeiten geographische Phänomene

zu erklären. Ein Beispiel dafür ist die Dichte von Wasser bei Unterschieden in der Temperatur oder dem Salzgehalt. Hydrogeographische Phänomene können durch Einbezug von chemischen bzw. physikalischen Gesetzmäßigkeiten erklärt werden.

Irrtümlich werden oftmals die Begriffe Versuch und Experiment synonym verwendet. Basierend auf den Definitionen, müssen die Kriterien eines Experimentes erfüllt sein. Um die begriffliche Unschärfe zu verdeutlichen, wird in der Geographiedidaktik auch von experimenteller Lernform im Kontext des Experimentes gesprochen (WILHELM 2012, S. 5). Als experimentelle Arbeitsweisen werden zudem Beobachten, Untersuchen und Modellieren aufgeführt (OTTO 2009, S. 5). Dabei ist die Beobachtungsfähigkeit eine Voraussetzung des Experimentierens.

2.4.2 Experimenteller Algorithmus

Der experimentelle Verlauf, auch als „experimenteller Algorithmus“ (DRIELING 2006, S. 18; OTTO ET AL. 2011, S. 107) bezeichnet, entspricht mit leichten Variationen sowohl in anderen naturwissenschaftlichen Fachdisziplinen (z. B. LABUDDE 2010; S. 135) als auch in der Geographiedidaktik einem typischen Verlauf.

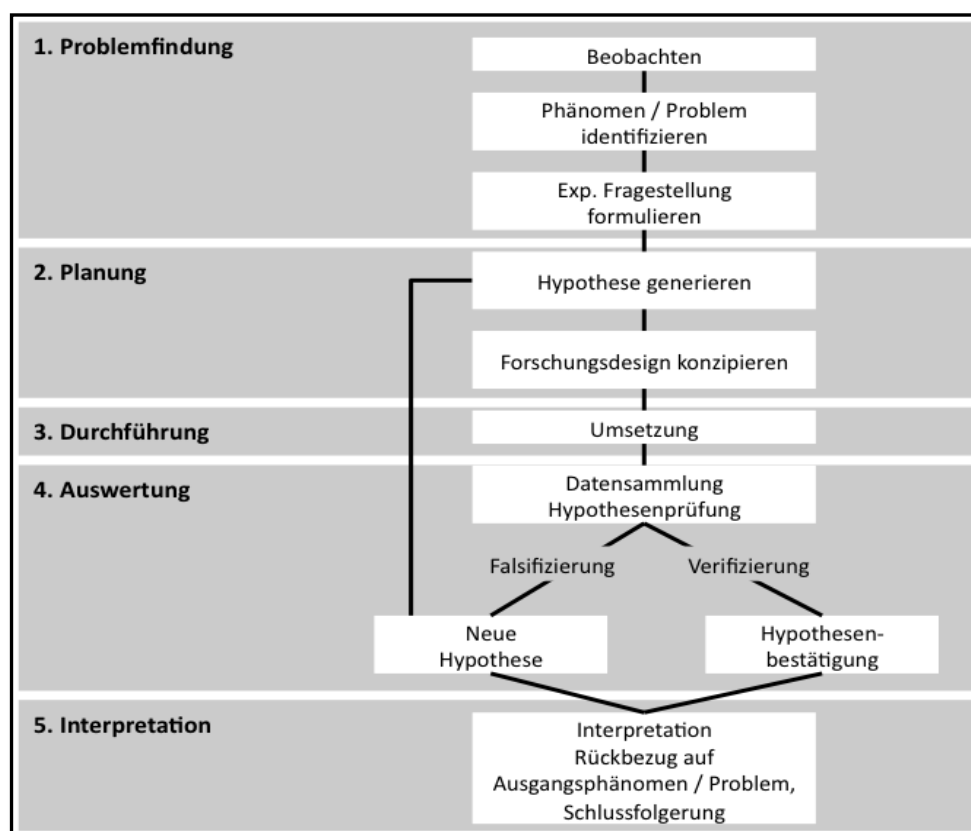


Abbildung 4: Phasen und Arbeitsschritte des Experimentierens im Geographieunterricht (verändert nach OTTO ET AL. 2011, S. 107; MÖNTER, HOF 2012, S. 297)

- Problemfindungsphase: Zu Beginn eines Experiments steht die Beobachtung eines Phänomens, Problems oder Sachverhalts. An dieser Stelle müssen die Schülerinnen und Schüler die experimentelle Methode des Beobachtens beherrschen, um eine naturwissenschaftlich überprüfbare Fragestellung zu entwickeln. „Methodologisch steht die Fragestellung vor der Hypothese, weil sie weiter gefasst und nicht im Hinblick auf empirisch überprüfbare Fragen oder ein spezielles Experimentdesign formuliert wird“ (OTTO ET AL. 2011, S. 100).
- Planung: In Phase 2 des experimentellen Algorithmus werden die Hypothesen formuliert. „Eine Hypothese ist eine begründete Annahme, die empirisch überprüfbar ist und dementsprechend formuliert sein muss“ (OTTO ET AL. 2011, S. 101). Die Hypothese ist, im Gegensatz zur Fragestellung, eine Aussage oder Voraussage (MÖNTER, HOF 2012, S. 298). Zur Hypothese (1) wird eine Gegenhypothese (0) formuliert. HAMMANN (2004) ordnet die abschließende Hypothesenrevision der Phase ‚Suche im Hypothesen-Suchraum‘ (Hypothesen generieren/revidieren) zu und OTTO ET AL. (2011) dem Kompetenzbereich Auswertung und Interpretation (s. u.).
- Durchführung: Sie erfolgt in der Regel in kooperativen Unterrichtsformen unter Beachtung der Kriterien eines Experiments wie Kontrollansatz oder, wenn möglich, Variation. Neben der Protokollierung müssen Reproduktion und Transsubjektivität beachtet werden (OTTO ET AL. 2011, S. 103; MÖNTER, HOF 2012, S. 299 f.).
- Auswertung und Interpretation: Nach OTTO ET AL. (2011) erfolgt im vierten Schritt die Auswertungs- und Interpretationsphase. Die Hypothesenfalsifizierung sowie der Rückbezug auf die Problemfrage charakterisieren die Auswertungsphase und schließen den Zirkel. Die Interpretation ist dabei von den Ergebnissen zu trennen. In der Interpretation erfolgt die Methodendiskussion, die Übertragung auf andere Beispiele und gegebenenfalls Formulierungen neuer Hypothesen (OTTO ET AL. 2011, S. 104 f.).

Der experimentelle Algorithmus spiegelt die Phasen des problemlösenden Lernens nach RINSCHÉDE (2007) wider. Die (1) Problemfindungsphase impliziert das (authentische) Problem, die Konfrontation der Lernenden mit der Problemstellung. Im Experimentierprozess wird sie konkret in Form einer Fragestellung formuliert. Die Phase der Hypothesenbildung entspricht Phase (2) Planung. Die Planung der Lösungsstrategie entspricht der Phase (3) Durchführung und der bewussten Anwendung von Operatoren (z.B. Variablenidentifikation, Variation und Kontrollansatz), um ein Problem anhand der Methode des Experimentes (Experimentierraum) zu lösen. Zur Problemlösung wird die Planung in der Durchführungsphase praktisch umgesetzt. Die Informations- bzw. Datengewinnung zur Falsifizierung bzw. Verifizierung der Hypothesen erfolgt demnach in der Durchführung, so dass in der abschließen-

den Phase (4) zunächst die Hypothesenrevision und anschließend die Gültigkeitsüberprüfung erfolgen können.

2.4.3 Angeleitetes Experimentieren

„Das angeleitete, gelenkte Üben bereitet das selbstständige Üben vor“ (HASSELHORN, GOLD 2009, S. 244). Neben Hilfen zur Beantwortung der Fragen können zusätzliche Erklärungen oder Hilfestellungen geboten werden. Auch sollten alle Schülerinnen und Schüler ihre erworbenen Kenntnisse und Fähigkeiten, eventuell durch Verschriftlichung, am Ende der Lernsequenz vorliegen haben (HASSELHORN, GOLD 2009, S. 244). Auch aus naturwissenschaftsdidaktischer Perspektive wird die offene Unterrichtsform nach ausreichender Hinführung zur Methode empfohlen (REINHOLD 1997; MAYER, ZIEMEK 2006, S. 9). PESCHEL (2008) klassifiziert in GOFEX (Grundschullabor für offenes Experimentieren) fünf Module der Offenheitsstufung beim Experimentieren, die im ersten Schritt mit dem angeleiteten und gesteuerten Vorgehen beginnen (PESCHEL 2008, S. 2). Auch aus geographiedidaktischer Sicht fordern OTTO ET AL. (2011), MÖNTER und HOF (2012) und WILHELMI (2012) eine Hinführung der Lernenden zur Methode des Experimentierens in allen Teilbereichen (s. Tab. 7). Bezogen auf die Methode des Experimentierens, wird die angeleitete Unterrichtsform vor allem als „...rezeptartige [...] Einstiegsvariante genutzt“ (OTTO ET AL. 2011, S. 106). Als Hinführung zur Methode können vorstrukturierte Arbeitsmaterialien verwendet werden, die als Orientierung dienen.

Tabelle 7: Grade der Schüler selbstständigkeit beim experimentellen Lernen (WILHELMI 2012, S. 6 verändert nach MAYER, ZIEMEK 2006, S. 9)

| Grad | Geographische Fragestellung/ Hypothesenentwicklung | Planung | Durchführung/ Auswertung | Interpretation/ Reflexion |
|------|---|----------------|-----------------------------|------------------------------|
| 1 | Lehrer | Lehrer | Lehrer | Lehrer |
| 2 | Lehrer | Lehrer/Schüler | Schüler | Lehrer/Schüler |
| 3 | Lehrer/Schüler | Schüler/Lehrer | Schüler | Schüler/Lehrer |
| 4 | Schüler/(Lehrer) | Schüler | Schüler | Schüler |
| 5 | Schüler | Schüler | Schüler | Schüler |

OTTO ET AL. (2011) und MÖNTER und HOF (2012) differenzieren den Öffnungsgrad der Eigenverantwortlichkeit in drei Stufen a) imitatorisches Experimentieren, b) organisatorisches Experimentieren, c) konzeptionelles Experimentieren (s. Abb. 5).

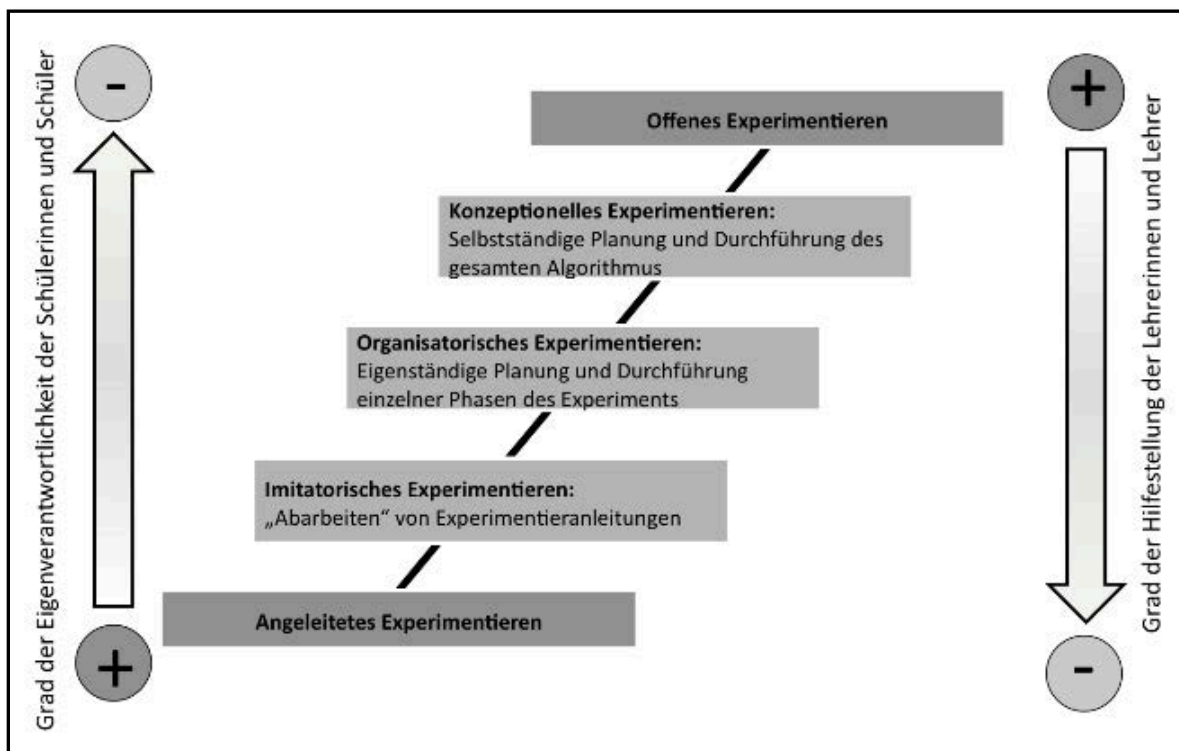


Abbildung 5: Grad der Hilfestellung durch Lehrerinnen und Lehrer bzw. Grad der Eigenverantwortlichkeit der Schülerinnen und Schüler beim angeleiteten und offenen Experimentieren (verändert nach OTTO ET AL. 2011, S. 105; MÖNTER und HOF 2012, S. 305)

Die Eigenverantwortlichkeit nimmt vom imitatorischen Experimentieren, das durch rezeptartiges Abarbeiten charakterisiert ist, hin zum organisatorischen Experimentieren zu. Die organisatorische Variante beinhaltet eigenständige Durchführungen einzelner Phasen. Beim konzeptionellen Experimentieren wird der höchste Öffnungsgrad erreicht, da die Lernenden den experimentellen Algorithmus selbstständig vollziehen (OTTO ET AL. 2011, S. 106).

2.4.4 Offenes Experimentieren

Das selbstständige Üben soll erst dann erfolgen, wenn die Schülerinnen und Schüler eine hinreichende Festigung der Inhalte oder Methode erlangt haben (HASSELHORN, GOLD 2009, S. 246). PESCHEL (2003) definiert den offenen Unterricht anhand von fünf Dimensionen: organisatorisch, methodisch, inhaltlich, sozial und persönlich (PESCHEL 2003, S. 78). Benannt werden die Selbst- und Mitbestimmung der Schülerinnen und Schüler hinsichtlich der Methoden- und Durchführungswahl sowie der Inhalte und Themen (APEL 2002, S. 221, BOHL 2003, S. 3). BOHL (2003) betont im Kontext des offenen Unterrichts die methodischen Grundprinzipien (übendes, vertiefendes, erarbeitendes- und zunehmend entdeckendes, problemlösendes, handlungsorientiertes, selbstverantwortetes, selbstständiges und kooperatives Lernen) (PRIEMER 2011, S. 316). Mit der Öffnung des Unterrichts geht die Zunahme der Selbstständigkeit der Lernenden einher.

MAYER und ZIEMEK (2006) benennen die Offenheit als ein Element des forschenden Lernens. Auch aus der Perspektive der Physikdidaktik kommt der Öffnung eine besondere Bedeutung zu. Im Weiteren wird das offene Experimentieren primär aus der Perspektive der Physikdidaktik betrachtet, da vergleichbare Ausführungen zum offenen Experimentieren aus dem Bereich der Geographiedidaktik nicht vorliegen und von zentraler Bedeutung in der vorliegenden Forschungsarbeit sind. Hinsichtlich der Methode des offenen Experimentierens definiert PRIEMER (2011) die Offenheit durch sechs Dimensionen: Fachinhalt, Strategie, Methode, Lösung, Lösungsweg und Phase. Der Grad der Offenheit der einzelnen Dimensionen wird anhand einer zwei bis drei Stufen umfassenden Graduierung differenziert (s. Abb. 6).

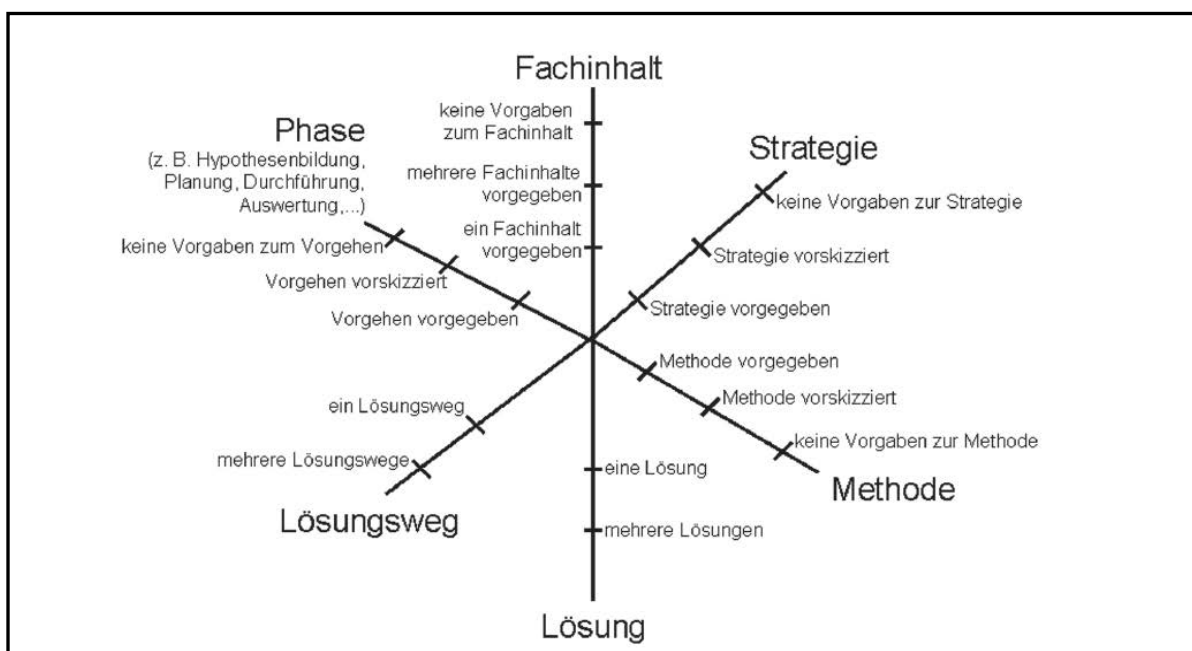


Abbildung 6: Die Dimensionierung und Graduierung des offenen Experimentierens im Überblick (PRIEMER 2011, S. 325)

Die Offenheit der a) Fachinhalte graduert PRIEMER (2011) „dadurch, dass der Fachinhalt entweder genau vorgegeben ist, mehrere Fachinhalte zur Wahl gestellt werden oder dass keinerlei Vorgaben gemacht werden“ (PRIEMER 2011, S. 326). Die b) Strategie wird durch die Aspekte der qualitativen, quantitativen Vorgehensweisen sowie des Designs klassifiziert. Die Öffnung erfolgt durch die Verminderung der Anleitung des Vorgehens. Demnach wird bei einem geringen Öffnungsgrad direkte Instruktion erteilt, die durch Hilfestellungen geöffnet werden kann und durch die Vermeidung von Vorgaben oder vorstrukturierten Arbeitsmaterialien das höchste Maß erreicht. Die Umsetzung im Unterricht erfolgt durch die c) Methode, die von der vorgegebenen zur vorskizzierten Variante hin zum Vorgabenverzicht ihre Offenheit entfaltet. Darunter werden auch die Materialien verstanden. So kann die Lehrkraft den Lernenden eine passgenaue Materialkiste bereitstellen, die das Vorgehen anleitet. Weiterhin kann ein Auswahlpool, z. B. in Form eines Materialtisches, vorbereitet werden, der eine Ma-

terialauswahl darstellt und somit eine Vorselektion beinhaltet. Das höchste Maß der Offenheit wird dahingehend erreicht, dass die Materialien frei wählbar sind und ggf. durch die Lehrkraft besorgt werden. Die vierte Dimension, d) Lösung, wird durch die Anzahl der möglichen Lösungen charakterisiert. Gibt es nur eine Lösung, wird von konvergent gesprochen, bei mehreren Lösungsmöglichkeiten von divergenten (MAIER ET AL. 2010 aus PRIEMER 2011, S. 328). Mit der Dimension e) Lösungsweg erweitert PRIEMER (2011) den Ansatz von MAIER ET AL. (2010) und benennt diesen als ein Prüfkriterium für die Offenheit eines Experimentes. „Denn existiert nur ein einziger Lösungsweg, kann nicht mehr im eigentlichen Sinn von Offenheit gesprochen werden“ (PRIEMER 2011, S. 329). Die letzte Dimensionierung umfasst die f) Phasen. So stellt sich die Frage, inwiefern Anleitung und Instruktion in den einzelnen Phasen des Experiments (Fragestellung formulieren, Hypothesen generieren, Planung eines Experiments, Durchführung, Daten auswerten und Interpretation) erfolgen. Das Vorgehen kann vorgegeben werden und erhält ein höheres Maß an Offenheit durch Vorskizzierung. Werden keine Vorgaben in den einzelnen Phasen des Experimentes gemacht, ist das höchste Niveau der Offenheit erreicht. Demnach kann die Öffnung der Phasen in jedem Schritt des experimentellen Algorithmus erfolgen (PRIEMER 2011, S. 329).

2.4.5 Problemlösendes Lernen und Experimentieren

Entsprechend der theoretischen Grundlage ist das problemlösende Lernen durch fünf Prinzipien definiert: entdeckende, problemorientierte, selbstgesteuerte, kooperative und situierte Lernumgebungen (z. B. MANDL 2003, S. 10, HASSELHORN, GOLD 2009, S. 262ff.). Gemäß der methodischen Basis des Experimentierens sollte eine Entwicklung vom angeleiteten zum offenen Unterrichtsverlauf erfolgen (OTTO ET AL. 2011), bei der die Offenheit durch sechs Dimensionen und entsprechende Graduierung klassifiziert ist (PRIEMER 2011, S. 325). Das angeleitete Experimentieren wird somit in der vorliegenden Arbeit durch problemlösendes Lernen, verstärkte Instruktion, Anleitung und Vorgaben seitens des Lehrers definiert (s. Tab. 8).

Tabelle 8: Problemorientiertes Lernen und angeleitetes Experimentieren

| | Problemlösendes Lernen (Grad der Schülerselbstständigkeit und Aktivierung) | | | |
|---|---|--|---------------------------------------|--|
| | | aktiv konstruierend | selbstgesteuert | kooperativ |
| Angeleitetes Experimentieren (Grade der Offenheit) | Fachinhalt | Lehrer (ein Fachinhalt vorgegeben; Schülern passiv) | Lehrer (Schüler fremdgesteuert) | Lehrer (ein Fachinhalt vorgegeben; mögliche Einzelarbeit) |
| | Strategie | Lehrer (Strategie vorgegeben; Schüler passiv) | Lehrer (Schüler fremdgesteuert) | Lehrer (direkte Instruktion; mögliche Einzelarbeit) |
| | Methode | Lehrer (Methode vorgegeben; Schüler passiv) | Lehrer (Schüler fremdgesteuert) | Lehrer (Methode vorgegeben; Einzelarbeit) |
| | Lösung | Lehrer (eine Lösung; Schüler passiv) | Lehrer (Schüler fremdgesteuert) | Lehrer (eine Lösung; mögliche Einzelarbeit) |
| | Lösungs- weg | Lehrer (ein Lösungsweg; Schüler passiv) | Lehrer (Schüler fremdgesteuert) | Lehrer (ein Lösungsweg; mögliche Einzelarbeit) |
| | Phase | Lehrer (Vorgehen vorgegeben; Schüler passiv) | Lehrer (Mischform) | Lehrer/Schüler (vorgegeben Phasen; mögliche Einzelarbeit oder kooperativ) |

In der Dimension ‚Phase‘ können kooperative Arbeitsweisen z. B. in der gemeinsamen Planung und Durchführung des Experiments erfolgen. Dennoch werden die weiteren Dimensionen (Fachinhalt, Strategie, Methode, Lösung, Lösungsweg) durch die Lehrkraft vorgegeben. Die selbstständige Konstruktion des Wissens durch aktive Generierung, wie es beispielsweise beim entdeckenden Lernen gefordert wird (HASSELHORN, GOLD 2009, S. 262), kann bei der Hinführung zur Experimentiermethode durch angeleitetes Vorgehen nicht umgesetzt werden. Insgesamt sind die Dimensionen durch eine hohe Instruktion und Anleitung seitens der Lehrkraft und eine geringe Selbstständigkeit seitens der Lernenden gekennzeichnet.

Durch die Öffnung der Gradierung der Experimentierdimensionen erhöht sich zugleich die Eigenständigkeit. Die Schüleraktivierung resultiert in der selbstständigen Konstruktion des methodischen Vorgehens sowie der Wissensgenerierung durch die Einschränkung der Instruktion. Die Instruktion wird durch Hilfestellungen ersetzt und mündet schließlich in selbstgesteuertem, aktivem Lernen mit authentischem Problem durch kooperative Lernumgebungen (s. Tab. 9).

Tabelle 9: Problemorientiertes Lernen und offenes Experimentieren

| Problemorientiertes Lernen (Grad der Schüler selbstständigkeit und Aktivierung) | | | | |
|--|-----------------|---|------------------------------|--|
| Offenes Experimentieren (Grade der Offenheit) | | aktiv konstruierend | selbstgesteuert | kooperativ |
| | Fachinhalt | Schüler (keine Vorgabe zum Fachinhalt; Schüler aktiv) | Schüler (selbstgesteuert) | Schüler (keine Vorgabe; kooperativ) |
| | Strategie | Schüler (keine Vorgabe zur Strategie; Schüler aktiv) | Schüler (selbstgesteuert) | Schüler (keine Vorgabe; kooperativ) |
| | Methode | Schüler (keine Vorgabe zur Methode; Schüler aktiv) | Schüler (selbstgesteuert) | Schüler (keine Vorgabe; kooperativ) |
| | Lösung | Schüler (mehrere Lösungen; Schüler aktiv) | Schüler (selbstgesteuert) | Schüler (mehrere Lösungswege; kooperativ) |
| | Lösungs- weg | Schüler (mehrere Lösungswege; Schüler aktiv) | Schüler (selbstgesteuert) | Schüler (mehrere Lösungen; kooperativ) |
| | Phase | Schüler (keine Vorgabe zum Vorgehen; Schüler aktiv) | Schüler (selbstgesteuert) | Schüler (keine Vorgabe; kooperativ) |

2.5 Stand der Forschung

2.5.1 Defizite beim Experimentieren

Lernende weisen spezifische Defizite innerhalb der einzelnen Teilkompetenzen (Fragestellung formulieren, Hypothesen generieren, Planung eines Experiments, Daten auswerten) auf, die in verschiedenen nationalen und internationalen Studien empirisch belegt werden. Aus dem Bereich der pädagogischen Psychologie wird insbesondere die Studie von DE JONG und VAN JOOLINGEN (1998) aufgeführt. Aus den Didaktiken der Naturwissenschaften liegen ebenfalls zahlreiche Befunde zur Methode vor (z. B. HAMMANN 2004; GRUBE 2010; HOF 2011; MAYER ET AL. 2008).

- Fragestellung formulieren

GRUBE (2010) benennt die Formulierung einer naturwissenschaftlichen Frage als problematische Teilkompetenz für Lernende. Auch mit Blick auf die PISA-Studien verdeutlichen PRENZEL ET AL. (2006) die Schwierigkeit deutscher Schülerinnen und Schüler, eine naturwissenschaftliche Fragestellung zu erkennen. Die Probanden erreichen in der Teilkompetenz ‚naturwissenschaftliche Fragestellungen‘ den niedrigsten Kennwert, was darauf zurückgeführt wird, dass sie mit diesem Kompetenzbereich am wenigsten vertraut sind. MAYER ET AL. (2008) kommen in der Studie zum Kompetenzmodell naturwissenschaftlicher Erkenntnisge-

winnung ebenfalls zu den Befunden, dass die Leistungen der Schülerinnen und Schüler in den Kompetenzbereichen ‚Fragestellung formulieren‘ sowie ‚Planung eines Experiments‘ geringer sind als in den Kompetenzbereichen ‚Hypothesen generieren‘ und ‚Daten auswerten‘. Die Ursache könnte nach Angaben der Autoren darin liegen, dass bei den Kompetenzbereichen Hypothese generieren und Daten auswerten auf bereits bekannte Konzepte wie das Fachwissen oder fachspezifische Konzepte zurückgegriffen werden kann. Dies ist beispielsweise bei der Formulierung einer naturwissenschaftlichen Fragestellung kaum möglich. Weiterhin nennt GRUBE (2010) das epistemologische Verständnis im Zusammenhang mit der Teilkompetenz ‚Fragestellung formulieren‘ als besonders schwierigkeitsinduzierend und damit als Grund für den niedrigen Leistungsstand. „Bei der Entwicklung einer naturwissenschaftlichen Fragestellung müssen die Lernenden eine Vorstellung davon besitzen, was diese von einer nicht-naturwissenschaftlichen Frage unterscheidet“ (GRUBE 2010, S. 90.).

- Hypothesen generieren

DE JONG und VAN JOOLINGEN (1998) identifizieren im Kompetenzbereich ‚Hypothesen generieren‘ drei Problemfelder. (a) „An important problem here is that learners [...] simply may not know what a hypothesis should look like“ (DE JONG, VAN JOOLINGEN 1998, S. 183). Demnach wissen Schülerinnen und Schüler nicht, wie Hypothesen aufgestellt werden. Der zweite Problemteibereich wird der (b) Hypothesenrevision zugeschrieben. Die Verifikation bzw. Falsifikation der Hypothesen erfolgt nicht auf Grundlage der gesammelten Daten. Der dritte Problemteibereich wird als (c) „fear of rejection“ (DE JONG, VAN JOOLINGEN 1998, S. 184) bezeichnet. Demnach kommt es zur Vermeidung der Formulierung von Hypothesen, die als abwegig und damit als unwahrscheinlich erachtet werden. Unsystematisches Vorgehen sowie die gänzliche Vermeidung der Hypothesenformulierung, d. h. Experimentieren ohne Hypothesen, wurde ebenfalls belegt (HAMMANN 2004, S. 199 f.).

- Planung eines Experiments

DE JONG und VAN JOOLINGEN (1998) beschreiben vier Problemteibereiche beim Planen eines Experiments. (a) „Confirmation bias“ (DE JONG, VAN JOOLINGEN 1998, S. 184) beschreibt dabei die Tendenz Informationen zu suchen, die die Hypothese bestätigen. Somit werden nicht Informationen zur eventuellen Widerlegung der Hypothese gesucht, also weitreichendere Informationen, sondern gezielt solche, die die eigene Annahme bestätigen. Im zweiten Problemteibereich werden (b) nicht zufriedenstellende Experimente benannt (DE JONG, VAN JOOLINGEN 1998, S. 185). GLASER ET AL. (1992) benennen das Problemfeld, dass zu viele Variablen variiert werden und demzufolge keine Rückschlüsse aus dem Experiment gezogen werden können. Der dritte Problemteibereich beschreibt das (c) ineffiziente Experimentierverhalten (DE JONG, VAN JOOLINGEN 1998, S. 185). In Anlehnung an eine Studie von KUHN ET

AL. (1992) wird deutlich, dass nicht die gesamte Breite an Informationen zur Planung des Experimentes genutzt wird, sondern nur ein beschränkter Ausschnitt. Dieses Experiment wird dann jedoch wiederholt durchgeführt. Im Problemteibereich 4 wird aufgezeigt, dass (d) Experimente geplant werden, die nicht geeignet sind, die zuvor formulierten Hypothesen zu überprüfen (DE JONG, VAN JOOLINGEN 1998, S. 185). Auch HAMMANN (2004) bestätigt, dass Schülerinnen und Schüler beim Planen unsystematisch vorgehen. Variablen werden konfundiert, d. h. falsch variiert oder falsch zugeordnet. Die Studie von SIEGLER und LIEBERT (1975) belegt, dass gerade jüngere Schülerinnen und Schüler im Alter von 10 Jahren Probleme mit dem systematischen Vorgehen in einem Experiment haben. Oftmals wird nach dem trial-and-error-Prinzip vorgegangen. Dabei beschreibt HAMMANN (2004), dass Schülerinnen und Schüler bereits in der Primarstufe fähig sind, metakognitive Leistungen zu erbringen, um aus Evidenzen Kausalitäten abzuleiten, und dass sie das systematische Variieren und Kontrollieren von Variablen erlernen können. Das Problem liegt bei fehlerhaften Schülervorstellungen zur Methode des Experimentierens (HAMMANN 2004, S. 199).

- Daten auswerten

DE JONG und VAN JOOLINGEN (1998) beschreiben insbesondere zwei Problemteibereiche beim Auswerten und Interpretieren von Daten. Zum einen werden (a) aus Daten falsche Rückschlüsse gezogen. KLAHR und DUNBAR (1988) kommen ebenfalls zu dem Ergebnis, dass fehlerhafte Schlussfolgerungen aus Ergebnissen gezogen werden. Zum anderen (b) haben Lernende bei der Auswertung von graphischen Darstellungen und Diagrammen Probleme. KLAHR ET AL. (1993) bestätigen insbesondere den Problemteibereich 1. Gestärkt werden die Erkenntnisse des Problemteibereichs 2 durch die Studie von LACHMAYER ET AL. (2007), die zu dem Ergebnis kommen, dass Schülerinnen und Schüler bei Text- und Graphikanteilen Verständnisprobleme aufweisen.

2.5.2 Offenes und angeleitetes Experimentieren

Angeleitete und offene Experimentierumgebungen werden in verschiedenen Studien untersucht. Dabei werden verschiedene Aspekte für und gegen offene Lernsituationen deutlich. Demnach sprechen KIRSCHNER ET AL. (2006) gegen offene Lernumgebungen und für direkte Instruktionen, da das Kurzzeitgedächtnis die Informationsverarbeitung nicht bewältigen kann und die Übertragung ins Langzeitgedächtnis problematisch ist. Als Resultat wird ein geringerer Lernzuwachs aufgeführt. HOF (2011) untersucht in einer Interventionsstudie Probanden differenziert in zwei Experimentalgruppen, die in a) angeleiteten und b) offenen Lernumgebungen mit dem Ansatz des forschenden Lernens unterrichtet werden. Die Kontrollgruppe wird hingegen im fragend-entwickelndem Ansatz unterrichtet. Als Ergebnis wird berichtet, dass im Kurzzeitgedächtnis die Experimentalgruppe mit offener Lernumgebung einen höhe-

ren Kompetenzerwerb verzeichnet, im Fachwissen dieser jedoch nicht langfristig wirkt. Demgegenüber belegen Studien, dass durch offene Lernumgebungen ein höherer Lernzuwachs bei Schülerinnen und Schülern erreicht werden kann. WALPUSKI und SUMFLETH (2007) verzeichnen in ihrer Interventionsstudie zur experimentellen Kleingruppenarbeit im Chemieunterricht einen hohen Lernerfolg durch offene Lernformen bei Schülerinnen und Schülern, die durch Nachfragen während der Experimentierphase Hilfestellung erhielten. SADEH und ZION (2012) untersuchen in ihrer Studie Schülerinnen und Schüler im Fach Biologie an einer Highschool in Israel. Es werden zwei Gruppen gebildet, um der Frage nachzugehen, ob offene oder angeleitete Unterrichtsmethoden effektiver sind. Als signifikante Resultate sind zu verzeichnen, dass die offen unterrichteten Schülerinnen und Schüler der Versuchsgruppen nach der Durchführung eine größere Zufriedenheit mit der eigenen Leistung verbinden. Außerdem setzen sie die Umsetzung und Implementierung des Projektes in einen größeren Zusammenhang, verbunden mit einem höheren individuellen Lernzuwachs. Auf der anderen Seite empfinden die Schülerinnen und Schüler der Versuchsgruppe den Zeitaufwand größer, um ihr Projekt zu dokumentieren, ebenso wie die Durchführung der ersten Phase, die die Ergründung des Phänomens sowie die Formulierung der Fragestellung beinhaltet (SADEH, ZION 2012, 831 ff.).

2.5.3 Alter

Mit Blick auf das Alter der Probanden zeigt die TIMSS Studie, dass nur etwa 10 bis 16 % der Schülerinnen und Schüler bis zum Ende der 8. Klasse einfache experimentelle Anordnungen verstehen (aus HAMMANN 2004, S. 197). Mit gezielten Förderungen können jedoch bereits im Grundschulalter 7- bis 10-jährige Schülerinnen und Schüler die Grundstrategien zum Entwickeln logischer Experimente erlernen. Dies zeigen CHEN und KLAHR (1999) in einer Studie mit 87 Schülerinnen und Schülern im Grundschulbereich (grade 3 and 4). Die Schülerinnen und Schüler können demnach nach der Intervention zwischen logischen und unlogischen Experimenten differenzieren und in einfachen Tests die Variablen systematisch variieren (CHEN, KLAHR 1999, S. 1098). CAREY und EVANS (1989) untersuchten Schülerinnen und Schüler im Alter von 12 Jahren an Junior Highschools (grade 7) in den USA. Deutlich wird aufgezeigt, dass die Schülerinnen und Schüler nach einer Intervention fähig sind, systematisch und hypothesengeleitet zu experimentieren (CAREY, EVANS 1989; HAMMANN 2004, S. 199). Gestärkt werden die Erkenntnisse durch die Studie von SIMSEK und KABAPINAR (2010), die bei 10- bis 11-jährigen Schülerinnen und Schülern das Wissenschaftsverständnis im Zuge des forschenden Lernens mit signifikanten Resultaten fördern konnten.

3 Forschungsfragen und Hypothesen

Im Zuge der Ergebnisse deutscher Schülerinnen und Schüler in den internationalen Vergleichsstudien kam es zur Reformierung des deutschen Bildungssystems, zu einem Paradigmenwechsel von der Lernzielorientierung hin zur Kompetenzorientierung (s. Kap. 1 & 2). Problem- und anwendungsorientierte Ansätze wurden insbesondere in den naturwissenschaftlichen Fächern im Zuge der Kompetenzentwicklung gefordert (ARTELT ET AL. 2001, S. 32). Der verstärkten Kompetenz- und Problemorientierung werden die positiven Entwicklungen der PISA-Ergebnisse in den Folgeerhebungen zugesprochen. Somit kam neben dem Erwerb von Fachwissen dem methodischen Kompetenzerwerb eine elementare Bedeutung zu, der auch in den 2006 erstmals veröffentlichten geographischen Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss Berücksichtigung fand. Es werden konkret Standards im Bereich Erkenntnisgewinnung/Methoden formuliert, die problemorientierte/-lösende Unterrichtsansätze im Geographieunterricht fordern. Neben der Informationsgewinnung aus traditionellen und neuen Medien kommt der eigenen Datengewinnung besondere Bedeutung zu. Diese können durch Experimente gewonnen werden (DGFG 2007, S. 19). Dem Experiment wird dabei aus naturwissenschaftsdidaktischer Perspektive ein tragender Wert zugesprochen, PRENZEL und PARCHMANN (2003) benennen die Methode als didaktischen Königsweg.

Um den umfassenden Forderungen gerecht werden zu können, im Zuge derer eine solide Grundlage für die Problem- sowie methodische Kompetenzorientierung im Geographieunterricht zu schaffen und die Sonderstellung des Faches zu stärken ist, müssen bewährte didaktische Konzepte aufgegriffen sowie neue entwickelt und diese der Forderung WEINERTs (2001) entsprechend überprüft werden. Basierend auf den theoretischen Grundlagen, wird die übergeordnete Annahme formuliert, dass durch den problemlösenden Unterrichtsansatz die methodischen Kompetenzen des Experimentierens gefördert werden können.

Fragestellung 1: Zeigen die mit dem problemlösenden Ansatz unterrichteten Schülerinnen und Schüler (Versuchsgruppe) einen höheren Kompetenzzuwachs als die Probanden, die im fragend-gelenkten Ansatz (Vergleichsgruppe) unterrichtet werden?

Hypothese 1: *Mit dem Ansatz des problemlösenden Lernens erreichen die Schülerinnen und Schüler der Versuchsgruppe ein höheres Kompetenzniveau (positiver Effekt) in der Methode des Experimentierens als die Probanden der Vergleichsgruppe.*

Grundlage der Hypothese sind nationale und internationale Studien der vergangenen Jahrzehnte. In den Studien von WEINSTEIN ET AL. (1982), BREDDERMANN (1983), SHYMANSKY ET AL. (1990) wurde der Effekt von problemlösenden Unterrichtsformen im Vergleich zu traditionellen Lehrformen untersucht. Ein positiver Effekt wird in den Studien deutlich (Effektstärke

zwischen 0,26 und 0,35). In einer Metaanalyse untersuchten SCHROEDER ET AL. (2007) ebenfalls experimentelle und quasi-experimentelle Studien und bestätigten den positiven Effekt von forschendem Lernen, sogar mit einem höheren Effekt (FURTAK ET AL. 2012, S. 302 f.). EHMER (2008) untersucht aus biologiedidaktischer Perspektive Schülerinnen und Schüler der Jahrgangsstufe 6, differenziert in zwei Gruppen. Die Experimentalgruppe wurde gezielt in der naturwissenschaftlichen Methode interveniert und erreichte im Nachtest einen signifikanten Zuwachs der kognitiven Fähigkeiten. Die Kontrollgruppe erreichte im Nachtest sogar schlechtere Ergebnisse als im Vortest. Allerdings stand in dieser Studie nicht das problemlösende Lernen im Fokus, sondern verstärkt die Methodenförderung, die Elemente des problemlösenden Lernens enthielt. In der Studie von HOF (2011) wird in einem experimentellen Design mit Experimental- und Kontrollgruppen die Lernwirksamkeit des forschenden Lernens in einer Interventionsstudie untersucht. Die Schülerinnen und Schüler (Experimentalgruppen), die mit dem forschenden Unterrichtsansatz unterrichtet wurden, verzeichnen im Pre-/Post-Vergleich nach der Intervention ebenfalls einen höheren Lernerfolg im Bereich des wissenschaftlichen Kompetenzerwerbs. Auch HWANG ET AL. (2012) zeigen positive Effekte im Vergleich von problemorientierten zu konventionellen Verfahren, die durch signifikante Unterschiede beim Lernerfolg gekennzeichnet sind. Andere Studien belegen einen solchen positiven Effekt jedoch nicht (REYNOLD 1991; PINE ET AL. 2006).

Hypothese 1.1: *Der positive Effekt des Kompetenzniveaus der Versuchsgruppe ist langfristig wirksam.*

WORTHEN (1973) spricht auf der Methode basierend, dem entdeckenden Lernen eher langfristige als kurzfristige Wirkungs- und Behaltensleistungen zu (nach HASSELHORN, GOLD 2009, S. 270). Unter langfristiger Wirkungsleistung wird die Fähigkeit verstanden, die Kompetenzen auch nach einem längeren Zeitraum adäquat anwenden zu können. Demgegenüber steht die kurzfristige Wirkungs- und Behaltensleistung, bei der ein Kompetenzerwerb nur über einen sehr begrenzten Zeitraum nachweisbar ist, d. h. unmittelbar nach dem Lernprozess und nicht über einen längeren Zeitraum. Auch HOF (2011) bestätigt einen Kompetenzzuwachs, sowohl bei angeleiteten als auch bei offen unterrichteten Probanden im forschenden Unterrichtsansatz, der langfristig wirkt. Es wird davon ausgegangen, dass der Kompetenzerwerb auch langfristig zu einem höheren Kompetenzniveau führt. Demgegenüber benennen KIRSCHNER ET AL. (2006) einen geringeren Lernzuwachs durch die Überforderung des Kurzzeitgedächtnisses und die Übertragung ins Langzeitgedächtnis.

Da ein besonderes Augenmerk auf dem methodischen Kompetenzerwerb der Probanden liegt, muss dieser differenziert und detailliert analysiert werden. Mit Blick auf die Kompetenzen des Experimentierens ist ein Diskussionsfeld eröffnet, das zwischen drei bzw. vier Teilkompetenzen variiert. Unter Berücksichtigung der teilweise konvergierenden Erkenntnisse (z.

B. DUNBAR, KLAHR 1998; HAMMANN 2004; WALPULSKI ET AL. 2008; MAYER ET AL. 2009; OTTO ET. AL 2010) werden in der vorliegenden Arbeit vier Teilkompetenzen erhoben und individuell analysiert, beginnend mit der Kompetenz Fragestellung formulieren.

Hypothese 1.2: *Mit dem Ansatz des problemlösenden Lernens erreichen die Schülerinnen und Schüler der Versuchsgruppe ein höheres Kompetenzniveau (positiver Effekt) in allen vier Teilkompetenzen des Experimentierens als die Probanden der Vergleichsgruppe.*

Hypothese 1.3: *Der positive Effekt des Kompetenzniveaus der Versuchsgruppe ist in allen vier Teilkompetenzen langfristig wirksam.*

Basierend auf den oben aufgeführten Erkenntnissen zum problemlösenden Lernen, wird davon ausgegangen, dass die Schülerinnen und Schüler der Versuchsgruppe einen höheren Kompetenzerwerb erreichen, der in allen vier Teilkompetenzen zu positiven Effekten führt. Die Effekte sind zudem in allen vier Teilkompetenzen langfristig wirksam.

Dennoch zeigt die Studie von EHMER (2008) ein differenziertes Ergebnis. Bei Schülerinnen und Schülern der Jahrgangsstufe 6 wurde zum Verständnis der Experimentiermethode anhand einer offenen bzw. halboffenen Aufgabe eine Intervention durchgeführt. Differenziert in Experimentalgruppe (methodische Fähigkeiten werden gezielt vermittelt) und Kontrollgruppe (ohne Methodenvermittlung), erreichten die Schülerinnen und Schüler der Experimentalgruppe im offenen Vorgehen (mit nur geringen Vorgaben) einen signifikant höheren Kompetenzerwerb in der Teilkompetenz Experiment planen, der in der Teilkompetenz Hypothesen generieren nicht bestätigt werden konnte.

Fragestellung 2: Hat die Lernausgangslage auf die Förderung der Teilkompetenzen des Experimentierens einen Effekt?

Hypothese 2: *Beim problemlösenden Lernen mit der Methode des Experimentierens (Versuchsgruppe) zeigen leistungstärkere Schüler gegenüber leistungsschwächeren eine erhöhte Kompetenzentwicklung (positive Effekte).*

Die Diskussion um die Benachteiligung leistungsschwächerer Schülerinnen und Schüler ist ebenso breit wie die dazu vorliegenden Befunde. In der vorliegenden Studie wird der Annahme nachgegangen, dass leistungstärkere Lernende einen höheren Kompetenzerwerb verzeichnen. Gestärkt wird die Hypothese durch verschiedene Beiträge (HELLER, HANY 1996; NEBER 1996; SWANSON 1999), die für leistungsschwächere Lernende eine höhere Lenkung und Anleitung fordern. Auch AUSUBEL (1968, 1974) betont, dass gerade leistungsschwächere Lernende darstellende Methoden und Anleitung benötigen und durch entdeckende Unterrichtsformen leistungstärkere Schülerinnen und Schüler begünstigt werden. SWELLER (1988,

2004) benennt ebenfalls die Benachteiligung leistungsschwacher Schülerinnen und Schüler durch Überforderung des Kurzzeitgedächtnisses hinsichtlich des Verarbeitungsvermögens. Dem stehen allerdings Ergebnisse verschiedener Studien entgegen, die leistungsschwächeren Schülerinnen und Schülern einen positiven Lernerfolg belegen (WERNING, BANNACH 1994; LYNCH ET. AL 2005; HOF 2011).

Eine weitere Kritik AUSUBELS (1968, 1974) liegt darin begründet, dass eine Vernachlässigung der Wissensinhalte zugunsten der Methodenkompetenz resultiert (HASSELHORN, GOLD 2009, S. 267). Daher muss der Fachwissenszuwachs Berücksichtigung finden und sollte nicht zugunsten der Methodenkompetenz vernachlässigt werden. Die dritte Forschungsfrage beinhaltet somit den Aspekt der Wissensinhalte.

Fragestellung 3: Kann mit dem Ansatz des problemlösenden Lernens neben dem methodischen Erkenntnisgewinn das Fachwissen gefördert werden?

Hypothese 3: *Problemlösendes Lernen mit der Methode des Experimentierens (Versuchsgruppe) zeigt positive Effekte beim Zuwachs des Fachwissens.*

Belege für diese Annahme werden in der Studie von HOF (2011) deutlich, in der Schülerinnen und Schüler sowohl im angeleiteten als auch offenen Ansatz des forschenden Lernens (Experimentalgruppen I und II) gegenüber der Kontrollgruppe mit traditionellem Unterrichtsansatz höhere Wissenszunahmen im Fachwissen erreichten. Dem stehen die Argumente von AUSUBEL (1968, 1974) und KIRSCHNER ET AL. (2006) entgegen, die von einem geringeren Wissenszuwachs ausgehen.

Weiterhin steht im Fokus der Forschungsarbeit der Aspekt des offenen Experimentierens durch problemorientierte Unterrichtssituationen. Im Zuge des Paradigmenwechsels zur Kompetenzorientierung wurden Kompetenzmodelle der naturwissenschaftlichen Methode entwickelt. Es stellt sich somit die Frage, ob durch offene Lernumgebungen Kompetenzentwicklungen erreicht und nachgewiesen werden können.

Fragestellung 4: Welche Kompetenzstufen werden durch offenes Experimentieren (Versuchsgruppe Teil II) erreicht?

Hypothese 4: *Die Probanden erreichen in den Teilkompetenzen ein logisches, adäquates und systematisches Niveau (Stufe 4).*

Offene Lernformen werden in der Studie von HOF (2011) in Vergleich zu angeleiteten Unterrichtsformen gesetzt. Als Ergebnis wird ein positiver Effekt hinsichtlich des Kompetenzer-

werbs deutlich. Demnach zeigen Schülerinnen und Schüler in offenen Lernsituationen ein höheres Kompetenzniveau. SADEH und ZION (2012) untersuchten angeleitete und offene Lernsituationen des forschenden Lernens und kamen zu dem Ergebnis, dass die in offenen Lernumgebungen unterrichteten Schülerinnen und Schüler mehr Zeit in die konzeptionelle sowie praktische Phase investierten, die angeleitet unterrichteten Lernenden hingegen in die Dokumentation und Auswertung. Auch ROTH und ROYCHOUDHURY (1993) belegen positive Effekte bei offenen Lernsituationen im Hinblick auf die Kompetenz Planung eines Experiments. Das von HAMMANN (2004) konzipierte Kompetenzentwicklungsmodell basiert auf vier Stufen, wobei die jeweilige vierte Stufe einem systematischen bzw. adäquaten Vorgehen entspricht. HAMMANN (2004) führt auf, dass die systematische/adäquate Hypothesengenerierung bzw. Datenauswertung ab Klasse 7 möglich ist, der systematische Umgang mit Variablen in unbekannten Domänen ab der Jahrgangsstufe 6. Eine Studie von CAREY und EVANS (1989) belegt, dass 12-jährige Schülerinnen und Schüler nach einer Intervention fähig waren, systematisch und hypothesengeleitet zu experimentieren. Gestärkt werden die Erkenntnisse durch weitere Studien, z. B. von SIMSEK und KABAPINAR (2010), die bei 10- bis 11-jährigen Schülerinnen und Schülern das Wissenschaftsverständnis im Zuge des forschenden Lernens mit signifikanten Resultaten fördern konnten. CHEN und KLAHR (1999) belegen für Schülerinnen und Schüler im Grundschulalter ein systematisches Vorgehen hinsichtlich des Variablenumgangs. Auf Grundlage der Befunde wird davon ausgegangen, dass die Schülerinnen und Schüler, bei denen am Ende der Jahrgangsstufe 6 eine Intervention stattfand, die Stufe 4 des Kompetenzentwicklungsmodells erreichen.

Anzumerken ist, dass weitere Studien eine solche Annahme widerlegen. Die TIMSS-Studie belegt entsprechend, dass die Lernenden im 7. Jahrgang beispielweise noch starke Defizite im Umgang mit Variablen haben. Weiterhin wird das Kompetenzentwicklungsmodell leicht modifiziert aufgrund der Erweiterung der Teilkompetenzen durch den Bereich Fragestellung formulieren und der Anpassung auf die geplante Intervention.

Fragestellung 5: Lassen sich durch die offene Lernumgebung spezifische Schwierigkeiten bei den einzelnen Teilkompetenzen des Experimentierens (Versuchsgruppe Teil II) identifizieren?

Hypothese 5: *In allen vier Teilkompetenzen des Experimentierens können spezifische Defizite identifiziert werden.*

Gerade die Darlegungen zu den Problemfeldern (s. o.) verdeutlichen, dass Schülerinnen und Schüler Schwierigkeiten haben, die einzelnen Teilkompetenzen zu erwerben. Mit Blick auf Studien zum Umgang mit den Kompetenzen Fragestellung formulieren, Hypothesen generie-

ren, Planung eines Experiments sowie Daten auswerten wird deutlich, dass Lernende spezifische Schwierigkeiten beim Kompetenzerwerb der vier Teilbereiche aufzeigen (z. B. GLASER ET AL. 1992, DE JONG, VAN JOOLINGEN 1998; HAMMANN ET. AL. 2006; MAYER ET AL. 2008; GRUBE 2010). Demnach wird in der Hypothese 5 davon ausgegangen, dass in der offenen Lernsituation, trotz gezielter Intervention, bei einzelnen Lerngruppen spezifische Defizite auftreten (s. Kap. 2.5.1).

Problematisch bei den aufgeführten Studien ist allerdings zum einen die Übertragung der internationalen Ergebnisse auf die nationale Ausgangslage und zum anderen die Transferierung der meist naturwissenschaftsdidaktischen Erkenntnisse (Biologie, Chemie, Physik oder Science) auf die Geographie. Weiterhin werden Befunde herangezogen, die insbesondere das forschende Lernen fokussierten und nicht primär das problemorientierte Lernen. Die Ergebnisse der vorgestellten Studien beruhen vor allem auf naturwissenschaftsdidaktischen oder psychologischen Studien, so dass die Übertragung der Ergebnisse auf die vorliegende Studie nur bedingt möglich ist. Die Erhebung und Analyse aus geographiedidaktischer Perspektive ist unumgänglich, um die formulierten Fragen und Hypothesen evaluieren zu können.

4 Forschungsdesign und Methoden

Die Forschungsarbeit geht der Frage nach, ob durch den Ansatz des problemlösenden Lernens und der Methode des Experimentierens bei der Experimentalgruppe ein insgesamt höherer Kompetenzerwerb zu verzeichnen ist als bei den Schülerinnen und Schülern der Vergleichsgruppe mit fragend-gelenktem Unterrichtsansatz. Weiterhin stellt sich die Frage nach individuellen und spezifischen Problemen beim Erwerb der Experimentierkompetenz. Um die Mehrperspektivität und Komplexität des Kompetenzerwerbs analysieren zu können, wird ein triangulatives Vorgehen, auch mixed methods genannt (TASHAKKORI, TEDDLIE 2003), eingesetzt. Dieses basiert auf einem integrierten Design, bei dem die Methoden¹ einzeln nacheinander Anwendung finden (FLICK 2011, S. 82).

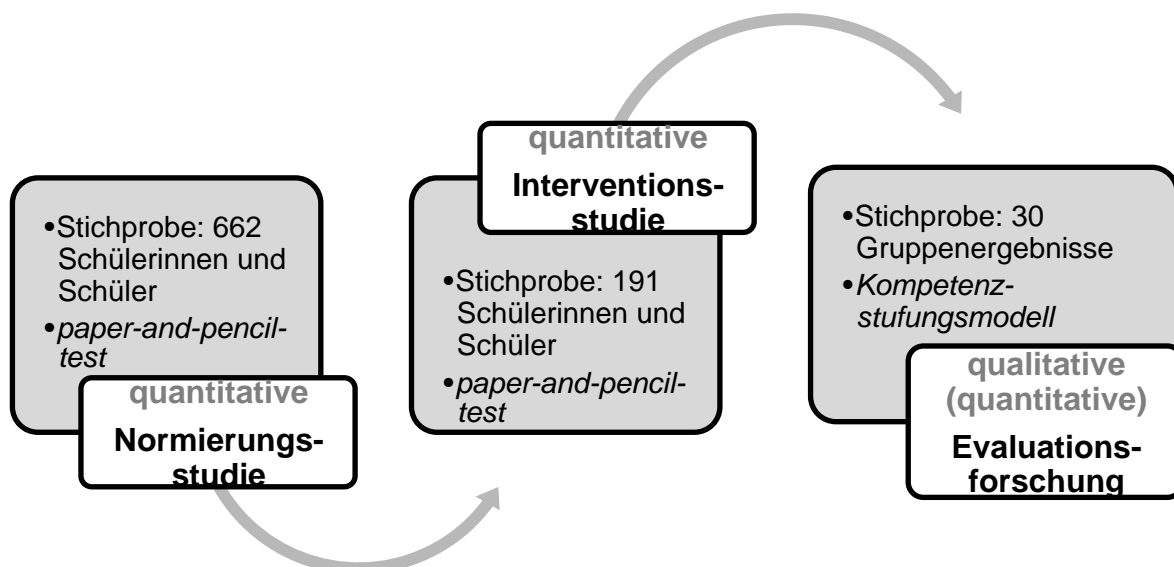


Abbildung 7: Forschungsdesign

Die Phasen stehen ergänzend zueinander, so dass sogenannte blinde Flecke kompensiert werden (FLICK 2011a, S. 84). Das Design entspricht einem sequential explanatory design (TASHAKKORI, TEDDLIE 2003, S. 223).

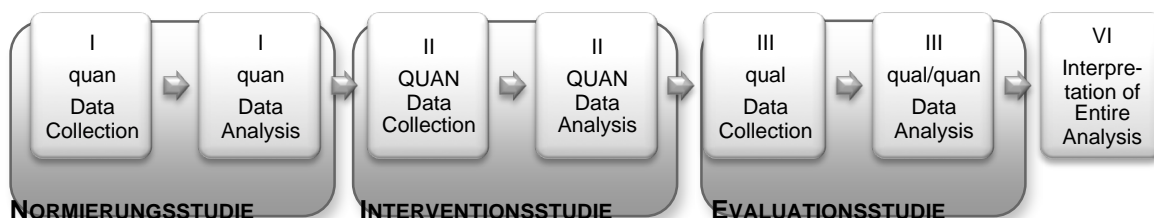


Abbildung 8: Sequential explanatory design (verändert nach TASHAKKORI, TEDDLIE 2003, S. 225)

¹ Köck (1991) benennt unter dem Begriff ‚Methoden‘ u. a. die Vorgehensweisen bei der Datenbeschaffung. In Anlehnung an Köck (1991) wird die Beschreibung und Begründung der Vorgehensweise als ‚Methode‘ bezeichnet.

Hier erfolgen im ersten Schritt die quantitative Datenerhebungen und Analyse (Teil I und II) und im zweiten die qualitative Datenerhebung und Analyse (Teil III), die in dieser Konzeption durch quantitative Verfahren erweitert wird. In der vorliegenden Arbeit liegt die Priorität auf der Interventionsstudie, ergänzt durch die Evaluationsstudie. Demnach liegt ein quantitativer Schwerpunkt vor. Integriert werden die Ergebnisse im Interpretations- bzw. Diskussionskapitel (Teil VI) (TASHAKKORI, TEDDLIE 2003, S. 223).

KRÜGER und RIEMEIER (2007) bezeichnen die Kombination aus Interventions- und Evaluationsforschung als entwicklungsorientierte Evaluationsforschung, bei der kennzeichnend ist, dass „mindestens zwei verschiedene Forschungsrichtungen miteinander kombiniert“ (KRÜGER, RIEMEIER 2007, S. 88) werden. In der Interventionsforschung werden Erkenntnisse erhoben, die theoriegeleitete Hinweise für die praktische Anwendungen bieten. Durch die Evaluationsforschung werden die Maßnahmen überprüft und bewertet. Die Wirkung und Folgen eines Konzeptes sollen evaluiert werden (KRÜGER, RIEMEIER 2007, S. 88).

Für die vorliegende Arbeit ergeben sich vier zu untersuchende Teilkompetenzen, die sich am empirisch belegten Kompetenzmodell nach MAYER, GRUBE und MÖLLER (2009) und den Modellen DFEE/QCA (1999) und NRC (1996) orientieren. Basierend auf den theoretischen Darlegungen werden die folgenden Teilkompetenzen formuliert: a) Fragestellung formulieren, b) Hypothesen generieren, c) Planung eines Experiments, d) Daten auswerten.

4.1 Pilotierungsstudie

Die Forschungsfragen fokussieren den Kompetenzzuwachs der Schülerinnen und Schüler durch die Methode des problemlösenden Lernens. Daher muss eine Erhebung der Kompetenz gewährleistet werden. In der Normierungs- und Interventionsstudie erfolgt die Erhebung mit der Methode des Leistungstests in Form eines paper-and-pencil-tests. Schriftliche Tests, computergestützte Tests oder praktisches Experimentieren wurden in vorausgegangenen Studien erprobt (z. B. KLAHR 2000; KLIEME ET AL. 2005; ZIEMEK ET AL. 2005; GRUBE 2010; HOF 2011). Da der paper-and-pencil-test ein bereits erprobtes Verfahren zur Erhebung von Kompetenzen ist, wie in den PISA-Studien und weiteren empirischen Studien (z. B. HOF 2011) beschrieben und durchgeführt, wird auch in dieser konzeptionellen Phase das Instrument verwendet. Es dient zum einen dazu, in der Normierungsstudie Schülerinnen und Schüler der Klassenstufen 5 bis 9 zu testen, um Aufschluss über deren Kompetenzen im Querschnitt zu erhalten. Zum anderen wird der paper-and-pencil-test dazu genutzt, einen Kern der vorliegenden Forschungsarbeit, die Interventionsstudie, in der Datengewinnung des Pre-, Post- und Follow-Up-Verfahrens zu unterstützen. In der Wahl der Durchführungsmethode wird der computergestützte Test als Methode ausgeschlossen. Das organisatorische Problem in der schulischen Durchführung (fehlende Laptops, Computerräume u. a.) sowie der organisatori-

sche Mehraufwand für die durchführenden Lehrkräfte lässt das computergestützte Testverfahren in der Schule als Instrument ausscheiden. Weiterhin bleiben bei diesem Verfahren Zweifel an der Teilnahmebereitschaft, da davon ausgegangen werden kann, dass insbesondere motivierte Schülerinnen und Schüler den paper-and-pencil-test beantworten und dadurch keine allgemeingültigen Aussagen getroffen werden können. Die Erhebung durch rein praktisches Experimentieren und Dokumentieren kann aus vergleichbaren Gründen (organisatorische Möglichkeiten, räumliche und personelle Kapazitäten) an den Schulen nicht erfolgen.

4.1.1 Entwicklung des Messinstruments

In der Pilotierungsphase wird zunächst das Messinstrument entwickelt. Dafür werden bereits bestehende paper-and-pencil-tests aus nationalen und internationalen Studien gesichtet (TAMIR, NUSSINOVITZ, FRIEDLER 1982; GERMANN 1989; DILLASHAW, OKAY 1980; BURNS, TOBIN, CAPIE 1982; OKEY, WISE 1985; HAMMANN 2007; HOF 2011). Weiterhin werden internationale Schulleistungsstudien (PISA und TIMSS) analysiert. Alle Studien beziehen den problemorientierten Ansatz bzw. inquiry-strategies mit ein und erheben wissenschaftliche Kompetenzen. Diese variieren innerhalb der Studien. Schwerpunkte liegen auf den Teilbereichen Fragestellung identifizieren und entsprechende Hypothesen ableiten, Variablen identifizieren und kontrollieren, Daten auswerten, aus graphischen Darstellungen Ergebnisse ableiten und allgemeingültige Aussagen formulieren. Gemeinsam ist den Testfragen, dass sie den Naturwissenschaften Biologie, Physik und Chemie zuzuordnen sind. Geographische Aspekte liegen kaum vor oder streben nicht die Überprüfung der Experimentierkompetenz an. Da insbesondere keine empirisch erprobten geographiedidaktischen Testfragen für den Kompetenzbereich Experimentieren mit den entsprechenden Teilkompetenzen vorliegen und weiterhin die vorhandenen Testfragen anderer Fachdisziplinen (z. B. Biologie) nicht zur Überprüfung der vorliegenden Forschungsfragen geeignet sind, wird der paper-and pencil-test eigenständig entwickelt. Bei der Entwicklung werden folgende Aspekte besonders berücksichtigt: Inhaltlicher Kontext und Angemessenheit, Kompetenzmodell nach MAYER, GRUBE und MÖLLER (2009), sprachliche Angemessenheit (NEUHAUS, BRAUN 2007, S. 139) sowie authentische Kontexte.

Bei der Entwicklung des Messinstruments wird der inhaltliche Aspekt betont. Geographische Themen zu Boden und Wasser werden gewählt, da diese für geographische Experimente besonders geeignet sind und dem kognitiven Stand der zum Teil jungen Probanden entsprechen. Testfragen zu anderen physisch-geographischen Themengebieten, beispielsweise Klima, sind für geographische Experimente geeignet, können jedoch gerade die jüngeren Schülerinnen und Schüler überfordern.

Der Leistungstest (s. Anhang Kap. I) ist ein Niveautest (NEUHAUS, BRAUN 2007, S. 136), der dem standardisierten Aufbau (Instruktion, soziodemographischer Hintergrund und Testfragen) entspricht. Im konzeptionellen Aufbau des paper-and-pencil-tests wird im ersten Schritt die Instruktion entwickelt, in der die Anonymität gewährleistet wird. Weiterhin erhalten die Probanden Hinweise zum Ausfüllen und Bearbeiten des Fragebogens. Der Verweis auf die Antwortmöglichkeit ‚*weiß nicht*‘ unterstreicht die Bedeutung, die Ergebnisse nicht zu erraten. Die soziodemographischen Fragen beinhalten ausschließlich die für die Auswertung benötigten Inhalte, ohne zu stark in die Privatsphäre einzugreifen. Der sechsstellige Code ist unerlässlich, da in der Interventionsstudie eine Messwiederholung mit drei Zeitpunkten (Pretest, Posttest und Follow-Up) erfolgt. Durch die Codierung können die Fragebögen in der späteren Auswertungsphase entsprechend den drei Erhebungsphasen den einzelnen Probanden zugeordnet werden (NEUHAUS, BRAUN 2007, S. 136 ff.), so dass die Analyse der Kompetenzentwicklung ermöglicht wird. Zur Erhöhung des Anonymitätsschutzes wird der zweite und dritte Buchstabe des Vornamens des Probanden und seiner Mutter gewählt. Vor den eigentlichen Testfragen wird ein Abschnitt zur Selbsteinschätzung mit Likert-Skala entwickelt. Eine fünfstufige Rating-Skala wird gewählt, da eine Erhöhung der Skalen die jungen Probanden überfordern kann (NEUHAUS, BRAUN 2007, S. 141). Die Abstände entsprechen „annähernd äquidistanten Abständen“ (NEUHAUS, BRAUN 2007, S. 141) und reichen von ‚sehr gut‘ bis ‚sehr schlecht‘ bzw. ‚sehr häufig‘ bis ‚noch nie‘. Diskutiert wird die Anzahl der Stufen (gerade oder ungerade), um der Problematik unentschlossener Probanden (unreflektierte Wahl der Mitte) zu vermeiden. Dies wird insbesondere bei langen Fragebögen empfohlen (NEUHAUS, BRAUN 2007, S. 141). Der vorliegende Test beinhaltet jedoch nur sechs, inhaltlich einfache Fragen zur Selbsteinschätzung, so dass die fünfstufige Skala angewendet werden kann.

Die Testfragen zur Erhebung des Kompetenzstands werden, basierend auf den Schritten der Testentwicklung nach NEUHAUS und BRAUN (2007), konzipiert. Überprüft werden die vier Bereiche des Experimentierens a) Fragestellung formulieren, b) Hypothesen generieren, c) Experiment planen, d) Daten auswerten sowie das Fachwissen. Das geschlossene Aufgabenformat (multiple choice) des Kompetenz- und Fachwissenstests wird in einem späteren Abschnitt (s. Kap. 4.1.3.1) näher begründet.

4.1.2 Erprobung des Messinstruments

Orientiert an den Verfahren von PRÜFER und REXRODT (1996), finden folgende Testverfahren Anwendung:

Tabelle 10: Überblick der Pilotierungsphase zur Testinstrumententwicklung

| kognitive Laborverfahren | Testerhebung im Feld | andere Verfahren |
|--|---|---|
| Concurrent Think Aloud Probing Confidence-Rating Paraphrasing | Standard-Pretest | Experten |
| <ul style="list-style-type: none"> integrierten Gesamtschule Jahrgangsstufe 5 | <ul style="list-style-type: none"> Stichprobe (27 Schülerinnen und Schüler) integrierte Gesamtschule Jahrgangsstufe 5 | <ul style="list-style-type: none"> Hochschullehrer wissenschaftliche Mitarbeiter Lehrerinnen und Lehrern (verschiedene Schularten) |

Die Testerhebung erfolgt bei Schülerinnen und Schüler der Jahrgangsstufe 5, um gewährleisten zu können, dass auch die jüngsten Probanden den paper-and-pencil-test in zeitlichem und kognitivem Umfang beantworten können, da in der Normierungsstudie Schülerinnen und Schüler der Jahrgangsstufen 5 bis 9 befragt werden.

Die Pilotierungsphase zur Entwicklung des Testinstruments beinhaltet drei übergeordnete Verfahren. Die (a) kognitiven Laborverfahren gliedern sich in verschiedene Techniken. Das Verfahren *Think Aloud* wird in der Literatur „als die zentrale kognitive Technik überhaupt bezeichnet“ (PRÜFER, REXRODT 1996, S. 20). Dabei werden die Schülerinnen bzw. der Schüler aufgefordert laut zu denken. Die Gedanken werden verbalisiert. Ziel ist es, Einsichten darüber zu erhalten, „wie die ganze Frage oder einzelne Begriffe verstanden wurden“ (PRÜFER, REXRODT 1996, S. 20). Der Proband wird aufgefordert, laut zu denken, während er seine Antwort formuliert. Konkret findet die Methode *Concurrent-Think-Aloud* (PRÜFER, REXRODT 1996, S. 20) Anwendung, d. h. die Gedanken werden während der Befragung formuliert. Eine zweite angewendete Methode ist das *Probing*. Dabei werden dem Probanden Zusatzfragen (erweiterte Fragen) gestellt, um detaillierte Informationen zu erhalten. Dies erfolgt direkt während des Verfahrens (Follow-Up-Probing). Durch *Comprehension Probing* (Probing zum Fragenverständnis) kann die Verständlichkeit von Begriffen und Fragen überprüft werden. Die Probanden erklären Termini sowie ganze Inhalte und Fragestellungen, damit Rückschlüsse auf die Verständlichkeit gezogen werden können (PRÜFER, REXRODT 1996, S. 23f.). Beim dritten kognitiven Verfahren, *Confidence Ratings*, soll der Proband, nachdem er eine Frage beantwortet hat, den Grad der Verlässlichkeit der Antwort bewerten (PRÜFER,

REXRODT 1996, S. 24). Er wird angehalten mitzuteilen, ob er sich bei der Antwort sicher oder unsicher sei bzw. ob er geraten habe (dreistufige Bewertungsmöglichkeit). Beim vierten kognitiven Laborverfahren, *Paraphrasing*, soll der Befragte, nachdem er die Frage beantwortet hat, die Frage mit eigenen Worten wiederholen (PRÜFER, REXRODT 1996, S. 25). Durch diese Methode können Rückschlüsse darüber gezogen werden, wie die Schülerinnen und Schüler die Fragen verstehen.

Die zweite übergeordnete Methode ist die (b) Testerhebung im Feld. Dabei wird eine Klasse mit 27 Schülerinnen und Schülern einer integrierten Gesamtschule im Jahrgang 5 gewählt. Ziel ist die Beobachtung der Probanden während der Beantwortung sowie die Festlegung der zeitlichen Komponente (45 Minuten) zur Beantwortung des Bogens in der Hauptstudie.

Der dritte Bereich der Pilotierungsphase besteht aus dem Einbezug von (c) Experten. Diese lassen sich in drei Bereiche gliedern: (1) Professoren (Fachdidaktik Geographie), (2) wissenschaftliche Mitarbeiter, promovierte Geographiedidaktiker oder Hochschulangestellte, (3) Lehrerinnen und Lehrer verschiedener Schulformen. Die einbezogenen Experten des universitären geographiedidaktischen Forschungsbereichs beurteilen die Konzeption aus dem Blickwinkel der empirischen Lehr-/Lernforschung. Weiterhin wird der Fragebogen von verschiedenen Inhabern der zweiten Expertengruppe gesichtet und bewertet sowie von Lehrerinnen und Lehrern, die nochmals einen differenzierten Blick auf Formulierungen und Abbildungen legen. Dies wird insbesondere von Grund-, Haupt- und Realschullehrern ermöglicht.

Als Ergebnisse der Pilotierungsphase können folgende Aspekte genannt werden, die Berücksichtigung finden und in die definitive Version des paper-and-pencil-tests aufgenommen werden.

a) Ergebnisse der kognitiven Laborverfahren

Die Veranschaulichung der Inhalte durch graphische Darstellungen erleichtert den Schülerinnen und Schülern das Verständnis. Die Textpassagen im Bereich des Experimentaufbaus stellen die Probanden vor größere Schwierigkeiten, wenn graphische Darstellungen fehlen. Daher werden die Experimente bei allen Testfragen durch einfache Visualisierungen ergänzt. Graphische Darstellungen, die ungenau sind oder von den Probanden nicht eindeutig erkannt werden können, werden ersetzt bzw. entsprechend den aufgetretenen Problematiken geändert. Demnach finden eindeutige und einfache Abbildungen Verwendung, die gegebenenfalls durch Beschriftungen ergänzt werden.

Termini werden didaktisch reduziert. So wird der Fachausdruck Hypothesen durch den Begriff Vermutungen ergänzt. Vermutung ist den teilnehmenden Schülerinnen und Schülern der Pilotierungsphase bekannt. Weiterhin sind undifferenzierte Verwendungen der Begriffe Boden und Erde irreführend. Dies bestätigen auch die Experten in ihren Ausführungen. Daher

wird einheitlich und geographisch angemessen der Begriff Boden im Kontext der Testfragen verwendet.

Die Schülerinnen und Schüler neigen oftmals zu Mehrfachantworten, auch wenn nur eine Antwort den Intentionen entspricht. Auf Rückfrage äußern sie: „Eine wird schon richtig sein“ oder „Ich denke, beide Antworten können stimmen“. Um den jungen Teilnehmerinnen und Teilnehmern Hilfestellung zu bieten sowie die Auswertung der Ergebnisse nicht zu verfälschen, wird vor der Antwortauswahl eine Vorgabe der richtigen Anzahl notwendig (Eine Antwort ist richtig. Zwei Antworten sind richtig.)

Einzelne Textbereiche sowie eine gesamte Testfrage werden mehrdeutig interpretiert, so dass entsprechend unklare Antworten der Schülerinnen und Schüler resultieren. Die Testfrage wird dem paper-and-pencil-test entzogen und die Textbereiche entsprechend geändert.

b) Testerhebung im Feld

Dieses Verfahren erfüllt, neben der Evaluierung der Fragenqualität, den Zweck der zeitlichen Überprüfung. Die Schülerinnen und Schüler einer 5. Klasse werden im Klassenverband angehalten, den Fragebogen entsprechend der geplanten Situation in der Hauptstudie auszufüllen. Die Probanden erhalten 45 Minuten, um in Einzelarbeit den paper-and-pencil-test zu bearbeiten. Als Resultat dieser Beobachtung wird deutlich, dass sie nach 45 Minuten den Fragebogen bearbeiten können. Damit kann der zeitliche Rahmen zur Durchführung der Hauptstudie festgelegt werden. Die Bearbeitungsdauer sollte nicht überschritten werden, da die Beantwortung eine hohe Konzentration von den Schülerinnen und Schülern fordert. Aus diesem Grund erfolgt keine Erhöhung der Anzahl der Testfragen. Drei Testfragen für jede Teilkompetenz haben sich als angemessen erwiesen, um eine Überforderung der Schülerinnen und Schüler zu vermeiden.

c) Experten:

Der Teilbereich Selbsteinschätzung wird zur Überprüfung durch Anregung der Experten mit drei Überprüfungsfragen zum Vorwissen ergänzt. Inhaltlich wird das Wissen zur Methode des Experimentierens fokussiert.

Ungenauigkeiten in den graphischen Darstellungen werden beanstandet. Das Experiment Wärmespeicherkapazität von Wasser und Boden (D2) enthält in der Version der Pilotierungsphase eine Heizplatte als Wärmequelle von unten. Da dies aus Gründen der Wärmeleitung sachlich im physikalischen und geographischen Sinne unkorrekt ist, werden Lampen als Wärmequellen von oben verwendet und graphisch in den paper-and-pencil-test integriert. Die Testfrage zur Verdunstung von Wasser (B1) überprüft in der ersten Version das Fachwissen der Schülerinnen und Schüler, da die Angaben zur gemessenen Zeit fehlt. Durch das

Experteninterview wird die Ergänzung der Zeitangaben ermöglicht, wodurch die Evaluierung der Teilkompetenz Hypothesenformulierung erfolgen kann.

Weiterhin folgen Hinweise auf die Vereinfachung von Termini sowie Satzbaukonstruktionen.

Der paper-and-pencil-test beinhaltet nach Abschluss der Pilotierungsphase vier Teilbereiche (s. Tab. 11) und 29 Items (s. Anhang Kap. I).

Tabelle 11: Aufbau und Inhalt des paper-and-pencil-tests (Testkonstruktion)

| Skala | | Inhalt |
|-------|---|--|
| A | Instruktion | Ziele der Untersuchung Anleitung zum Vorgehen |
| | Fragen zum soziodemographischen Hintergrund | soziodemographischer Hintergrund: Fragen zu Geschlecht, Alter, Klassenstufe, Schulform, Zeugnisnoten |
| | Code | Codierung |
| | | |
| B | Selbsteinschätzung | Selbsteinschätzung zur Methode des Experimentierens Fragen zu Experimentiererfahrungen |
| | Vorwissen | gezielte Fragen zur Selbsteinschätzung in den einzelnen Teilkompetenzen des Experimentierens Überprüfung der Selbsteinschätzung mit gezielten Fragen zur Methode des Experimentierens |
| C | Teilkompetenz Fragestellung formulieren | drei Testfragen zur Kompetenz Fragestellung formulieren mit vier Antwortmöglichkeiten sowie der Wahlmöglichkeit ‚weiß nicht‘ |
| | Teilkompetenz Hypothesen formulieren | drei Testfragen zur Kompetenz Hypothesen formulieren mit vier Antwortmöglichkeiten sowie der Wahlmöglichkeit ‚weiß nicht‘ |
| | Teilkompetenz Planung eines Experiments | drei Testfragen zur Kompetenz Experiment planen mit vier Antwortmöglichkeiten sowie der Wahlmöglichkeit ‚weiß nicht‘ |
| | Teilkompetenz Daten auswerten | drei Testfragen zur Kompetenz Ergebnisse auswerten mit vier Antwortmöglichkeiten sowie der Wahlmöglichkeit ‚weiß nicht‘ |
| D | Fachwissen | sechs Testfragen zum Fachwissen mit vier Antwortmöglichkeiten sowie der Wahlmöglichkeit ‚weiß nicht‘ |

4.1.3 Gütekriterien

In der Literatur werden verschiedene Gütekriterien genannt, die in die Bereiche Objektivität, Itemschwierigkeit, Trennschärfe, Reliabilität und Validität klassifiziert werden (NEUHAUS, BRAUN 2007, S. 146 ff.; ROST 2007, S. 150 ff.; BORTZ, DÖRING 2006, S. 217 ff.). Im Weiteren wird die Güte des konzipierten Messinstruments anhand der aufgeführten Kriterien überprüft. Zur Überprüfung der Itemqualität werden im Folgenden die Ergebnisse der Normierungsstudie hinzugezogen.

4.1.3.1 Objektivität

Objektivität liegt dann vor, wenn die Ergebnisse von der untersuchenden und auswertenden Person unabhängig sind. Differenziert werden Durchführungs-, Auswertungs- und Interpretationsobjektivität (ROST 2007, S. 153f). Die Durchführungsobjektivität wird durch die einleitende Instruktion auf dem Fragebogen (s. Kap. 4.1.1; Tab. 11) gewährleistet. Weiterhin erhalten alle beteiligten Schulen und Lehrkräfte ein Informationsanschreiben mit zeitlicher Vorgabe (45 Minuten Durchführung) und vereinheitlichten Anweisungen (z. B. keine Hilfestellungen während der Durchführung), um ein hohes Maß der Standardisierung zu gewährleisten. Die Testkonstruktion erfolgt entsprechend der Auswertungsobjektivität. So wird die geschlossene Aufgabenform (multiple choice) verwendet, die durch die Vorgabe der Antworten charakterisiert ist und die maximale Objektivität sichert (ROST 2007, S. 154). Die Interpretationsobjektivität fordert, dass verschiedene Personen unabhängig voneinander zu den gleichen Ergebnissen kommen. Dies ist in der vorliegenden Studie nicht notwendig, da es sich um einen rein mathematisch-statistischen Prozess handelt, der nicht beeinflussbar ist (LIENERT, RAATZ 1994, S. 8). Somit ist die Interpretationsobjektivität im vollen Maße gegeben.

4.1.3.2 Itemschwierigkeit und Trennschärfe

Die Itemschwierigkeit bezieht sich auf die einzelnen Items des Messinstruments. Sie dient der Beschreibung, wie viele Probanden die Aufgaben lösen können. Die Werte liegen zwischen 1 und 0. Treten Items auf, deren Werte unter 0,2 oder über 0,8 liegen, sollen sie aus dem Messinstrument entfernt werden (NEUHAUS, BRAUN 2007; 149). Die Trennschärfe (Trennschärfekoeffizient) zeigt, wie gut ein Item das Gesamtergebnis des Tests widerspiegelt. Dafür wird die Trennschärfe jedes einzelnen Items ermittelt (BORTZ, DÖRING 2006, S. 219). Im Optimum liegen die Werte zwischen 0,5 und 0,3 (NEUHAUS, BRAUN 2007; 149).

Tabelle 12: Itemschwierigkeit und Trennschärfe

| Skale | Subskala | Item | Kontext | Item-schwierigkeit | Trennschärfe |
|------------------------|---------------------------------------|------|--|--------------------|--------------|
| | Vorwissen | 5.1 | Kontext der Variablen | 0,38 | 0,30 |
| | | 5.2 | Bedeutung eines Experimentes | 0,55 | 0,23 |
| | | 5.3 | Phasen des Experimentes | 0,40 | 0,31 |
| Experimentierkompetenz | Teilkompetenz | A1 | Filterwirkung des Bodens | 0,29 | 0,30 |
| | Fragestellung formulieren | A2 | Wasserverschmutzung durch Öl – Trennverfahren bei Ölverschmutzungen | 0,34 | 0,23 |
| | | A3 | Bodenversalzung in ariden Regionen durch Bewässerung | 0,21 | 0,20 |
| | Teilkompetenz | B1 | Wasserverdunstung – Faktoren der Verdunstungsgeschwindigkeit | 0,44 | 0,31 |
| | Hypothesen formulieren | B2 | Einfluss der Bodenart auf die Infiltration | 0,34 | 0,35 |
| | | B3 | Kapillarkraft des Bodens – Wasserspeichervermögen von Boden | 0,39 | 0,33 |
| | Teilkompetenz | C1 | Phänomen Totes Meer | 0,41 | 0,37 |
| | Experiment planen | C2 | Bodenverdichtung - Einfluss auf die Infiltration von Oberflächenwasser | 0,22 | 0,24 |
| | | C3 | Problem Aralsee - Versalzungs- und Verdunstungsbedingungen | 0,26 | 0,44 |
| | Teilkompetenz Ergebnisse auswerten | D1 | Wasserspeichervermögen von Boden – Einflussbedingung Bodenart | 0,57 | 0,31 |
| | | D2 | Wärmespeicherung von Land- und Wasserflächen | 0,55 | 0,35 |
| | | D3 | Bodeneigenschaften – Körnigkeit und Speichervermögen | 0,59 | 0,33 |
| Fachwissen | | E1 | Wasserspeicherkapazität von Boden | 0,24 | 0,23 |
| | | E2 | Kapillarkraft des Bodens | 0,31 | 0,30 |
| | | E3 | Bodenversalzung durch Bewässerung | 0,14 | 0,20 |
| | | E4 | Aralsee und Bodenversalzung | 0,42 | 0,31 |
| | | E5 | Tragfähigkeit und Salzgehalt des Toten Meeres | 0,60 | 0,21 |
| | | E6 | Salzgehalt der Ostsee | 0,21 | 0,26 |

Die Testfrage E3 erfüllt sowohl das Kriterium der Itemschwierigkeit als auch das der Trennschärfe nicht. Daher wird sie bei der Analyse der Ergebnisse nicht berechnet. Weitere Items liegen knapp unterhalb des empfohlenen Trennschärfewerts, erreichen jedoch angemessene Werte in der Itemschwierigkeit. Aufgrund der teilweise minimalen Unterschreitung des empfohlenen Trennschärfewerts und der dringend erforderlichen inhaltlichen Abstimmung bezüglich der Intervention mit dem Thema Wasser – Süßwasser- und Salzwasserphänomene/-probleme an ausgewählten Raumbeispielen – werden diese in der weiteren Analyse berechnet und berichtet.

4.1.3.3 Reliabilität

Ein weiteres Gütekriterium ist die Reliabilität, die die Zuverlässigkeit eines Tests misst (ROST 2007, S. 155). In der Literatur werden verschiedene Verfahren zur Erhebung der Reliabilität von Leistungstests aufgeführt: Test-Retest, Paralleltest/Testhalbierung und Cronbachs α (NEUHAUS, BRAUN 2007, S. 155). Die ersten beiden Verfahren scheiden aus organisatorischen Gründen innerhalb der schulischen Durchführung aus. Die Ermittlung der Reliabilität erfolgt durch die Berechnung des Cronbachs α (BÜHNER 2004, S. 121) anhand des Statistikprogramms SPSS. Dabei werden Items einer Skala, die das gleiche Konstrukt messen, miteinander korreliert, so dass eine multiple Korrelation durchgeführt wird. Im Folgenden werden die Skalen Selbsteinschätzung, Vorwissen, Experimentierkompetenz und Fachwissen gebildet, die aus der Konstruktion des Fragebogens hervorgehen. Selbsteinschätzung und Vorwissen werden, obwohl sie eine Skala bilden, getrennt betrachtet, da es sich um unterschiedliche Aufgabenformate handelt. Es sollten möglichst Werte über 0,5 erreicht werden (NEUHAUS, BRAUN 2007; 153).

Tabelle 13: Reliabilität der einzelnen Skalen (Cronbachs α)

| Skala | Cronbachs α |
|------------------------|--------------------|
| Selbsteinschätzung | 0,71 |
| Vorwissen | 0,50 |
| Experimentierkompetenz | 0,71 |
| Fachwissen | 0,43 |

In den Skalen Selbsteinschätzung und Experimentierkompetenz wird mit jeweils 0,71 Cronbachs α eine befriedigende Reliabilität erreicht. Die Korrelationen fallen in den Skalen Vorwissen und Fachwissen geringer aus, da dort von drei bzw. fünf Items ausgegangen wird. Je mehr Items das gleiche Konstrukt messen, desto höher wird die Korrelation (NEUHAUS,

BRAUN 2007, 150 ff.). Eine Erhöhung der Items würde die kognitive Leistungsfähigkeit der Schülerinnen und Schüler überfordern. Ein Zeitrahmen von 45 Minuten zur Beantwortung des Leistungstests sollte nicht überschritten werden, so dass eine Erhöhung der Itemanzahl in den Skalen Vorwissen und Fachwissen nicht erfolgt und der Schwerpunkt des Messinstruments, die Erhebung der Experimentierkompetenz, einen befriedigenden Wert erreicht.

4.1.3.4 Validität

„Ist ein Test valide (gültig), dann misst er auch wirklich das, was er messen soll“ (ROST 2007, S. 158). Die Validität gibt damit die Gültigkeit des Tests an. Differenziert werden a) Inhaltsvalidität, b) Kriteriumsvalidität, c) Konstruktvalidität (BORTZ, DÖRING 2006, S. 200; NEUHAUS, BRAUN 2007, S.154 f.; ROST 2007, S. 158 f.).

Die a) Inhaltsvalidität liegt dann vor, wenn der Test mit hoher Sicherheit das zu messende Konstrukt misst (NEUHAUS, BRAUN 2007, S. 155). Die Überprüfung erfolgt nicht auf Rechengrundlage, sondern aufgrund sachlich logischer Überlegungen (BORTZ, DÖRING 2006, S. 199). Als inhaltlicher Kontext werden Themen zu Boden und Wasser gewählt. Die subjektive Überprüfung durch Experten wird als Möglichkeit aufgeführt, die Inhaltsvalidität gewährleisten zu können (HIMME 2007, S. 382). Das Messinstrument wird in der Pilotierungsphase verschiedenen Experten der Geographiedidaktik (s. Kap. 4.1.2) vorgelegt, die Forschungsschwerpunkte im Bereich der Erkenntnisgewinnung (Experimentieren) haben. Das Messinstrument wird von ihnen geprüft.

Zur Überprüfung der b) Kriteriumsvalidität wird ein Außenkriterium gesucht, wenn ein repräsentatives Verhalten nicht gemessen werden kann, das in einem theoretischen Zusammenhang zu dem zu untersuchenden Merkmal steht (NEUHAUS, BRAUN 2007, 155). Als Außenkriterium wird oftmals die Schulnote verwendet (NEUHAUS, BRAUN 2007, 157). In der vorliegenden Studie wird das Kriterium durch die Noten der Unterrichtsfächer Biologie und Erdkunde festgelegt. Anzumerken ist, dass der Kompetenzstand nicht zwangsläufig gleichzusetzen ist mit der Schulnote eines Lernenden. Daher erfolgt die Erweiterung des Außenkriteriums, wie es vergleichbaren Studien zu entnehmen ist (HOF 2011), durch die Kompetenzerhebung innerhalb verschiedener Schularten (Hauptschule, Realschule, IGS) sowie Klassenstufen (5 bis 9).

Konstruktvalidität liegt nach SCHNELL (2005) dann vor, wenn Aussagen über den Zusammenhang aus dem Konstrukt mit anderen, bereits bestehenden Konstrukten theoretisch hergeleitet und empirisch überprüft werden können. Hinsichtlich des Forschungsstands zum problemlösenden Lernen und der Experimentierkompetenz im Geographieunterricht kann keine Zusammenhangshypothese zu bestehenden Variablen formuliert werden. In dem vorliegenden Test handelt es sich um ein Konstrukt, das an dieser Stelle nicht messbar ist, wie

es im didaktischen Bereich die Regel ist (NEUHAUS, BRAUN 2007, 154). Daher kann die Konstruktvalidität hier nicht erhoben werden.

4.2 Normierungsstudien

Die Normierungsstudie verfolgt das Ziel, die Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler in einer Querschnittsstudie (ROST 2007, S. 134) zu erheben. Dabei werden neben der Selbsteinschätzung und dem Vorwissen zur Methode die Experimentierkompetenzen sowie das Fachwissen von Schülerinnen und Schülern aufgedeckt.

4.2.1 Stichprobe

Die Gesamtstichprobe beträgt 662 Schülerinnen und Schüler der Schularten integrierte Gesamtschule (N = 553), Realschulen und Hauptschule (N = 103), sonstige/keine Angaben (N = 6) in Hessen, mit 50,2% Probandinnen (N = 332) und 49,8% Probanden (N = 330). Das Durchschnittsalter beträgt 12,76 Jahre (SD = 1,33). Befragt werden Schülerinnen und Schüler der Jahrgangsstufen 5 bis 9, mit N = 102 im 5. Schuljahr, im 6. Schuljahr N = 251, im 7. Schuljahr N = 162, im 8. Schuljahr N = 60 und im 9. Schuljahr N = 84.

4.2.2 Design

Für die Erforschung der wissenschaftlichen Problemlösekompetenz werden in der Literatur verschiedene Methoden zur Erhebung der Teilkompetenzen beschrieben. Genannt werden Laborexperimente (KLAHR 2000), Klassenraumstudien/Felduntersuchungen (DUGGAN ET AL. 1996; HOF 2011), Interviews (CAREY ET AL. 1989), Large-scale-assessment (STEBLER ET AL. 1998; KLIEME ET AL. 2005; MAYER 2007, S. 183).

Die Datenerhebung erfolgt in der vorliegenden Untersuchung durch Feldstudien. Der Vorteil der Feldstudie „liegt darin, dass in der Regel eine größere Anzahl von Personen in die Untersuchung einbezogen wird, so dass die Ergebnisse eher als repräsentativ und generalisierbar angesehen werden können“ (SCHLÖMERKEMPER 2010, S.67). Die Feldstudie hat den Nachteil, dass die vollständige Kontrolle der Bedingungen nur schwer zu erreichen ist. Daten beeinflussenden Faktoren können nur schwierig kontrolliert werden. Da es nicht möglich ist, die große Anzahl an teilnehmenden Schülerinnen und Schülern unter Laborbedingungen zu befragen oder zu intervenieren, muss die Studie als Feldstudie durchgeführt werden. Außerdem sollen „die Daten unter natürlichen, normalen Bedingungen erhoben“ (SCHLÖMERKEMPER 2010, S.67) werden, um die Ergebnisse der Schülerinnen und Schüler möglichst real zu erhalten. Feldstudien sind demnach lebensnäher und flexibler (ROST 2007, S. 68) und aus diesem Grund gut geeignet, „weitergefasste Hypothesen zu testen“ (ROST 2007, S. 68).

Als Messinstrument wird der erläuterte paper-and pencil-test (s. Tab. 11; s. Anhang Kap. I) verwendet, der im Geographieunterricht innerhalb einer Unterrichtsstunde (45 Minuten) ausgefüllt wird.

4.3 Interventionsstudie

Der Schwerpunkt der Forschungsarbeit liegt in der Interventionsstudie, die, in vier Phasen gegliedert, in 6. bzw. 7. Jahrgangsstufen an drei unterschiedlichen Schulen in Hessen durchgeführt wird. Die Teilnahme der Lehrkräfte und der Klassen basiert auf persönlichen Kontakten, da die zeitintensive, nicht im Lehrplan verankerte Interventionseinheit ein hohes Engagement der Lehrkräfte erforderte. Zudem war die räumliche Nähe zu den Schulen maßgeblich, um den organisatorischen Ablauf gewährleisten zu können. Die Schulen liegen in den Landkreisen Lahn-Dill, Gießen und Wetteraukreis im Land Hessen. Die Zuordnung auf die Gruppen erfolgte per Zufall. Ziel der Interventionsstudie ist die Evaluierung der ersten drei Forschungsfragen. Um den durch die Intervention vermuteten Kompetenzzuwachs erheben und messen zu können, erfolgte im Vorfeld ein Pretest, nach der Intervention ein Posttest sowie eine Follow-Up-Erhebung. Die Durchführung der Interventionsstudie mit Pretest, Intervention und Posttest erfolgte am Ende des Schuljahres (2011/2012) vor den Sommerferien (2012). Die Follow-Up-Erhebung wird hingegen zu Beginn des Schuljahres (2012/2013), nach den Sommerferien (2012) und somit acht Wochen nach der Erhebung des Posttests durchgeführt. Daher sind die teilnehmenden Schülerinnen und Schüler zu Beginn der Interventionsstudie in der Klassenstufe 6 und zuletzt in der Klassenstufe 7.

4.3.1 Stichprobe

Insgesamt nehmen 191 Schülerinnen und Schüler an der Studie teil. Dabei können 112 Schülerinnen und Schüler der Versuchs- und 79 der Vergleichsgruppe im Pretest zugeordnet werden. 35,6% der Teilnehmer sind weiblich und 35,9% männlich. Im Durchschnitt sind die Probanden 12,02 (SD = 0,56) Jahre alt. Tabelle 14 verdeutlicht die Stichprobe hinsichtlich Treatmentzuordnung, Schulform und Lehrkraft in der Pre-, Post- und Follow-Up-Darstellung. Die Schüleranzahl variiert aufgrund fehlender Anwesenheit oder nicht erfolgter Bearbeitung des Tests sowie einzelner Items von T1 zu T3. Die Gruppe 5 (Versuchsgruppe Klasse Nr. 5) konnte an der Follow-Up-Erhebung (T3) nicht teilnehmen, da sie nach der Vollendung des 6. Jahrgangs aufgelöst wurde und die Erhebung zu Beginn des Schuljahres 2012/2013 im Jahrgang 7 erfolgte.

Tabelle 14: Übersicht der Stichprobe der Interventionsstudie

| Treatmentgruppe | Klasse | Schulart | Lehrer | Stichprobe (Pretest) |
|------------------|--------|--|--------|-------------------------|
| Versuchsgruppen | 1 | IGS (integrierte Gesamtschule) | A | 26 |
| | 2 | IGS (integrierte Gesamtschule) | B | 27 |
| | 3 | IGS (integrierte Gesamtschule) | A | 18 |
| | 4 | IGS (integrierte Gesamtschule) | B | 26 |
| | 5 | Haupt- und Realschule (Förderstufe) | C | 15 |
| Vergleichsgruppe | 6 | IGS (integrierte Gesamtschule) | D | 22 |
| | 7 | Haupt- und Realschule (Realschul- klasse) | E | 20 |
| | 8 | Haupt- und Realschule (Realschul- klasse) | F | 18 |
| | 9 | Haupt- und Realschule (Realschul- klasse) | G | 19 |

4.3.2 Design

Die Interventionsstudie erfolgt im quasi-experimentellen Design. Da die Probanden in ihrem Klassenverband unterrichtet werden müssen, können „die einzelnen Teilnehmer nicht per Zufall unterschiedlichen Gruppen“ (ROST 2007, S. 67f.) zugeordnet werden. Es erfolgt keine Randomisierung. „Im schulischen Kontext begegnet man sehr häufig quasi-experimentellen Designs, da der Klassenverband einer Schulklasse ein Gefüge ist, welches nicht willkürlich verteilt werden kann“ (OTTO ET AL. 2012, S. 135). Es handelt es sich um Klumpenstichproben (ROST 2007, S. 96.). Daher kann nicht von einem experimentellen Design ausgegangen werden, sondern von einem quasi-experimentellen Design, das einem Zwei-Gruppen-Plan (Versuchs- und Vergleichsgruppe) mit Vortest (Pretest), Behandlung (Intervention), Nachtest (Posttest) und Follow-Up entspricht. Im Pretest wird die Ausgangslage erhoben, dem direkt die Intervention folgt. Der Intervention schließt die zweite Erhebung (Posttest) an und acht Wochen danach die Follow-Up-Erhebung (s. Tab. 15).

Tabelle 15: Design der Interventionsstudie

| Phase | MZP | Verfahren | |
|---------------------|-----------------|---|--|
| | (Messzeitpunkt) | | |
| Pretest | T1 | Messinstrument: Leistungstest (paper-and-pencil-test); Schülerinnen und Schüler der Klassen 6 mit Versuchs- und Vergleichsgruppe | |
| Intervention | --- | Förderung der Versuchsgruppe in zehn Unterrichtssequenzen mit problemlösendem Ansatz und Experimentieren (vom angeleiteten zum offenen) | Förderung der Vergleichsgruppe in zehn Unterrichtssequenzen mit fragend-gelenktem Unterricht |
| Posttest | T2 | Messinstrument: Leistungstest (paper-and-pencil-test); Schülerinnen und Schüler der Klassen 6 mit Versuchs- und Vergleichsgruppe | |
| Follow-Up | T3 | Messinstrument: Leistungstest (paper-and-pencil-test); Schülerinnen und Schüler der Klassen 7 mit Versuchs- und Vergleichsgruppe | |

Das Thema der Intervention wird losgelöst vom hessischen Lehrplan gewählt, da das Konzept der integrierten Gesamtschule schulinterne Stoffverteilungspläne vorsieht, so dass keine einheitlichen Lehrpläne zu Grunde liegen. Verschärft wird die Problematik durch die Einführung der Bildungsstandards, die mit Beginn des Schuljahrs 2011/2012 (01.08.2011) in Kraft traten (KULTUSMINISTERKONFERENZ 2013a). Um einen Vorteil einzelner Klassen zu vermeiden, wird eine Unterrichtseinheit entwickelt, die konzeptionell in den bisherigen hessischen Lehrplänen nicht vorliegt. Inhaltlich wird das Thema – Süßwasser- und Salzwas-serphänome/-probleme an ausgewählten Raumbeispielen – gewählt, da es eine Vielzahl adressatengerechter Experimente ermöglicht. Zudem werden durch die Themenwahl Aspekte der Nachhaltigkeit betont.

Das Design besteht aus zwei Gruppen, Versuchs- und Vergleichsgruppe. Die Probanden der Versuchsgruppe werden durch den problemlösenden Ansatz unterrichtet. Die Methode des Experimentierens wird schrittweise in zehn Sequenzen vom angeleiteten zum offenen Vorgehen konzipiert. Geleitet durch Arbeitsblätter und vorgefertigte Materialien, erreichen die

Probanden am Ende der Intervention einen möglichst hohen Grad an Eigenständigkeit hinsichtlich der Methode des Experimentierens durch das Thema Wasser – Süßwasser- und Salzwasserphänome/-probleme an ausgewählten Raumbeispielen. Die Vergleichsgruppe wird ebenfalls in 10 Sequenzen zum Thema Wasser – Süßwasser- und Salzwasserphänome/-probleme – unterrichtet, jedoch durch fragend-gelenktes Vorgehen. Auch hier erhalten die Schülerinnen und Schüler vorgefertigte Arbeitsblätter.

Die beteiligten Lehrkräfte werden entsprechend ihrer Treatmentgruppe in einer Gesprächsrunde über den Ablauf und die Konzeption informiert. Um eine möglichst hohe Vergleichbarkeit der Gruppen gewährleisten zu können, erhalten alle Lehrkräfte eine Materialmappe, bestehend aus Sequenzierung, Vorgabe des zeitlichen Ablaufs der einzelnen Themen und Stunden, Einstiegfolien, Arbeitsblätter, Lösungs- und Vorgehenshinweisen. Demnach wird die Intervention in beiden Gruppen (Lehrkräfte der Versuchs- und Vergleichsgruppe) genau vorstrukturiert und zeitlich sowie materiell angeleitet, damit die Ergebnisse der Versuchs- und Vergleichsgruppe standardisiert und vergleichbar sind. Die Arbeitsmaterialien (Intervention) der Versuchsgruppe sind dem Anhang zu entnehmen (s. Anhang Kap. II).

4.3.3 Messinstrument

Als Messinstrument der Interventionsstudie zur Durchführung des Zwei-Gruppen-Plans mit drei Messzeitpunkten (T1-T3) wird der paper-and-pencil-test verwendet. Er besteht aus drei Skalen a) Selbsteinschätzung mit Vorwissenstest (mit Subskala), b) Test der Experimentierkompetenz (mit Subskala), c) Fachwissenstest (s. Abb. 9; s. Anhang Kap. I).

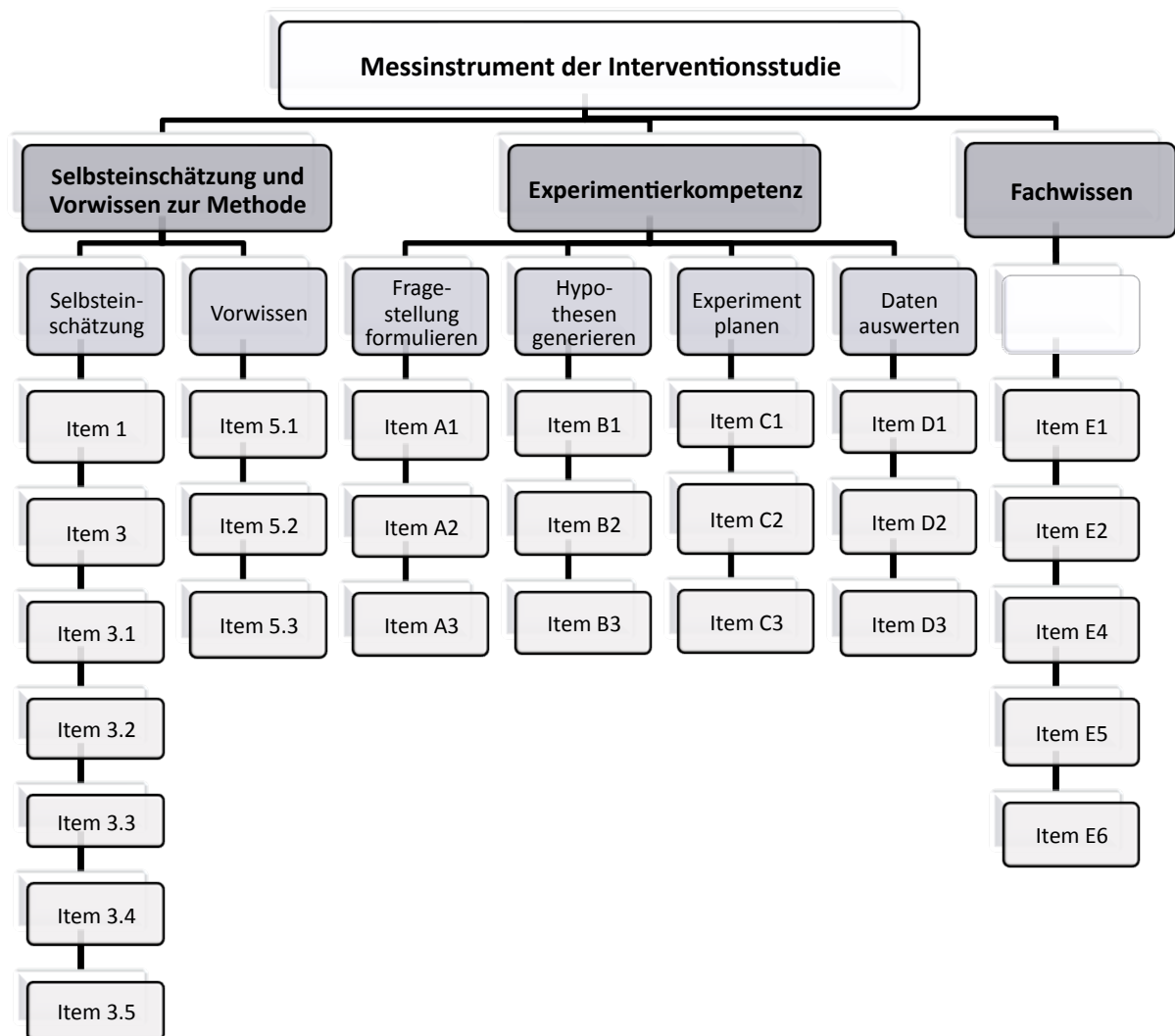


Abbildung 9: Schematische Darstellung des Messinstruments (Interventionsstudie)

Neben den aufgeführten Skalen und Subskalen werden auf der Frontseite Instruktionen erteilt, der soziodemographische Hintergrund erhoben sowie die Codierung angeleitet.

4.4 Statistische Auswertungsverfahren

Für die Analysen werden die in der Fachliteratur aufgeführten Verfahren unter Berücksichtigung der Voraussetzungen verwendet (z. B. BACKHAUS 2006; BORTZ, SCHUSTER 2010). In der Normierungsstudie werden dabei Unterschiede zwischen Faktoren (z. B. Jahrgangsstufe, Schulart) hinsichtlich der Experimentierkompetenz bzw. des Fachwissen erhoben. Zunächst werden die Ergebnisse deskriptiv dargestellt und Unterschiede zwischen Faktoren bzw. Gruppen auf signifikante Unterschiede geprüft. Dies erfolgt durch Varianzanalysen bzw. T-Tests, so dass z. B. das Kompetenzniveau der Gruppen auf statistische Unterschiede geprüft werden kann. In den Items der Teilkompetenzen Hypothesen generieren und Daten auswerten sind jeweils zwei Antworten richtig, in den Teilkompetenzen Fragestellung formulieren und Planung eines Experiments eine. Eine Gewichtung, d. h. Multiplikation um den

Faktor 2 zur Angleichung der Ergebnisse, erfolgte entsprechend der zwei Antwortmöglichkeiten.

Die Voraussetzungen des T-Tests sind: Intervallskalierung (abhängige Variable), Normalverteilung, Varianzhomogenität. Gegenüber Verletzungen der Voraussetzungen (Normalverteilung und Varianzhomogenität) ist der T-Test sehr robust, wenn die Stichprobe groß ist (BORTZ 2005, S. 131). Da die Daten nicht als eindeutig normalverteilt einzustufen sind (visuelle Beurteilung der Häufigkeitsverteilung), aber eine große Stichprobe vorliegt, wird der T-Test verwendet. FAGERLAND (2012) zeigt zudem, dass der T-Test für sehr schiefe Variablen verwendet werden sollte. Von der Nutzung des nichtparametrischen MW-Test (Mann-Whitney U Test) wird abgeraten, da bei hoher Stichprobe, starker Schiefe sowie unterschiedlicher Verteilung der MW-Test geringere p-Werte im Vergleich zum T-Test aufzeigt und fehlerhafte Hypothesenrevisionen resultieren können (FAGERLAND 2012). Weiterhin werden Varianzanalysen (ANOVA) als statistische Prüfverfahren eingesetzt. ANOVA ist ein Spezialverfahren des T-Tests und ebenfalls besonders robust gegen Verletzungen der Voraussetzungen, die von der Normalverteilung und Varianzheterogenität abweichen (ROST 2007, S. 188). Das tolerierte Alphafehlerniveau wird auf 5 % festgesetzt ($p < 0,05$).

In der statistischen Berechnung können bereits geringe Unterschiede bei großen Stichproben zu signifikanten Ergebnissen führen. Daher wird die Relevanz durch die Effektstärke (Cohens d) mit dem Programm G power geprüft. Nach Cohen wird $d > 0,2$ als kleine Effektstärke, $d > 0,5$ als mittlere Effektstärke und $d > 0,8$ als große Effektstärke differenziert, so dass Aussagen über die Bedeutsamkeit der Unterschiede getroffen werden können. Dieses Verfahren wird auch für alle weiteren Untersuchungen (Störvariablen und Interventionsstudie) verwendet.

Ergänzende Analysen beruhen auf Korrelationsuntersuchungen entsprechender Variablen (Normierungs- und Interventionsstudie). Die Werte zwischen 0,00 und 0,20 werden als sehr schwach betrachtet, Werte über 0,20 bis 0,40 als schwach, zwischen 0,40 und 0,60 als mittlere Stärke und über 0,60 bis 0,80 als starke Korrelation (SEDLMEIER, RENKEWITZ 2008).

Berechnungen der Interventionsstudie beruhen auf Varianzanalysen mit Messwiederholungen, die besonders effektiv sind, wenn Veränderungen über die Zeit erhoben werden sollen (BORTZ, SCHUSTER 2010, S. 285). Somit werden die Ergebnisse der Gruppen in der Analyse der Interventionsstudie durch Varianzanalysen mit Messwiederholungen überprüft, die durch Signifikanztests (T-Test) zwischen den drei Messzeitpunkten ergänzt werden. Dies bedeutet, dass a) die Ergebnisse der Gruppen zu den drei Messzeitpunkten direkt auf statistische Unterschiede geprüft und zum zweiten b) wird die unterschiedliche Entwicklung der beiden

Gruppen vom ersten zum zweiten Messzeitpunkt sowie vom ersten zum dritten Messzeitpunkt auf statistische Unterschiede analysiert werden.

4.5 Evaluationsstudie (Triangulation)

Durch das Evaluationsdesign wird eine genauere Untersuchung der Interventionsstudie ermöglicht. Um die Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler der Jahrgänge 6 differenzierter analysieren und Schwierigkeiten beim Kompetenzerwerb in den einzelnen Teilkompetenzen effektiver aufdecken zu können, wird am Ende der Interventionsphase eine qualitative Analyse mit quantitativen Elementen erfolgen. Ziel ist die Evaluierung der Forschungsfragen 4 und 5 zum offenen Experimentieren durch die Analyse der Schülerergebnisse im qualitativen Verfahren. Primär wird eine Kompetenzbewertung der Schülerinnen und Schüler im offenen problemorientierten Experimentierprozess ermöglicht, die abschließend durch die Bewertung der Effektivität der Intervention ergänzt werden kann.

4.5.1 Stichprobe

Das Sampling entspricht einem gezielten Sampling (FLICK 2011, S. 186), bei der die Gruppenergebnisse der Schülerinnen und Schüler (Sampling = Versuchsgruppe der Interventionsstudie) erhoben und anhand einer Evaluationsmatrix analysiert werden. Die Gruppen (N = 30) setzen sich demnach aus den an der Intervention teilnehmenden Schülerinnen und Schülern zusammen, die in explorativer und offener Unterrichtsform, entsprechend dem problemlösenden Lernen, in einer Gruppengröße von drei bis vier Schülerinnen und Schülern zusammenarbeiten. Die Probanden sind in der 6. Jahrgangsstufe einer Förderstufe sowie integrierten Gesamtschule und im Durchschnitt 12,28 Jahre alt. Die Geschlechterverteilung beträgt 50% weibliche Teilnehmerinnen und 50% männliche Teilnehmer.

4.5.2 Design

Das Grundschema des methodischen Vorgehens der qualitativen Evaluationsforschung beschreiben WOTTAWA, THIERAU (1990) durch die folgenden Schritte: a) Konzeption des Evaluationsdesigns, des Untersuchungsplans, b) Zielexplication, c) Operationalisierung der Ziele, d) Aufstellen und Bewertung von Bewertungskriterien, e) Schlussbewertung.

Die qualitative Evaluationsforschung wird als Methode aufgeführt, die Praxisveränderungen auf ihre Wirksamkeit hin untersucht. Besonders Interventionsprojekte und Curriculumforschung werden benannt (MAYRING 2002, S.62). Durch die Evaluationsforschung können pädagogische Interventionen auf ihre Wirksamkeit überprüft werden (KARDORFF 2012, S. 239).

Zur Messmethode eines ausführungsbezogenen Tests werden verschiedene Verfahren aufgeführt: a) direkte Beobachtung, b) eigenständige Protokollierung durch die Schüler und Schülerinnen, c) Computersimulation, d) paper-and-pencil-test (SHAVELSON, RUIZ-PRIMO 1999, S. 121). Als Messverfahren wird Variante b) eigenständiges Protokollieren verwendet. Zu den typischen Methoden der qualitativen Studien gehören zudem neben teilnehmenden Beobachtungen oder Interviews die interpretierende Dokumenten- und Inhaltsanalyse im Rahmen von beispielsweise Protokollen (ACKERMANN, ROSENBUSCH 2002, S. 35). Störende Effekte (z. B. Interview- oder Versuchsleitereffekte) können ähnlich den nonreaktiven Verfahren vermieden werden. Die Vorteile der eigenständigen Protokollierung liegen demnach darin begründet, dass alle Probanden zur gleichen Zeit das Experiment durchführen können, in ihrer Arbeitsaktivität nicht durch fremde Personen gehemmt werden sowie vergleichbare und zu evaluierende Ergebnisse in allen Gruppen der verschiedenen Klassen und Schulen in schriftlicher Form entstehen. Weiterhin erfolgt in der Interventionsphase eine gezielte Förderung der Technik des Protokollierens vom zunächst angeleiteten Vorgehen hin zu offenen Verfahren am Ende der Intervention. Die direkte Beobachtung ist aufgrund der Durchführungsverfahren mit unterschiedlichen Lehrkräften an unterschiedlichen Schulen zur gleichen Zeit nicht möglich. Ebenso scheidet die Computersimulation aus organisatorischen und technischen Gründen an den Schulen als Testverfahren aus. Weiterhin ist für eine Triangulation kennzeichnend, dass ein Forschungsstand aus mindestens zwei Punkten konstituiert wird. Dabei sollten verschiedene methodische Zugänge verwendet werden (FLICK 2011a, S. 11), so dass in dieser Phase auf den Einsatz eines paper-and-pencil-tests verzichtet wird.

Als Basisdesign wird eine Momentaufnahme (FLICK 2011b, S. 255) im Sinne der Kompetenzanalyse erfolgen. Entsprechend einer Fallanalyse, ergeben die einzelnen Schülergruppen jeweils einen Fall. Das Fallverständnis kann auch soziale Gemeinschaften umfassen (FLICK 2011b, S. 253), die hier durch die Schülerinnen und Schüler gebildet werden.

Zur Kontrolle der Variablen erfolgt eine genaue Vorgabe des Vorgehens. Das Konzept des Untersuchungsplans beinhaltet die 10. Sequenz der Interventionseinheit. Die in der Interventionsphase in Sequenz 10 aufgeführte Stunde zum Thema Salzgehalt der Ostsee umfasst eine Unterrichtsstunde. Die Lehrerinstruktion beinhaltet, einen problemorientierten Unterrichtseinstieg zu vollziehen und den Probanden im anschließenden Problemlöseprozess keine weiteren Hilfestellungen zu erteilen. Zu Stundenbeginn wird allen Schülerinnen und Schülern die gleiche Einstiegsfolie präsentiert, die eine Karte der Ostsee mit von West nach Nordost abnehmendem Salzgehalt zeigt. Eine gemeinsame Besprechung des Phänomens mit Verortung erfolgt. Weiterhin wird ein Materialtisch mit einer genauen Materialauflistung von den Lehrkräften vorbereitet (s. Anhang Kap I Sequenz 10). Der Schülerauftrag lautet, das aufgezeigte Phänomen mit den bereitstehenden Materialien (Auswahl) zu untersuchen

und das Vorgehen genau zu protokollieren. Die Schülergruppen müssen selbstgesteuert und kooperativ in offener Unterrichtsform den Erkenntnisweg konstruieren und protokollieren. Arbeitsblätter mit vorstrukturierten Anleitungen wie in den vorausgegangenen Sequenzen werden nicht an die Schülerinnen und Schüler ausgegeben. Zur Protokollierung werden weiße Blätter verwendet. Jede Gruppe muss das Protokoll in einfacher Form anfertigen, es wird abschließend von der Lehrkraft eingesammelt.

Die Datenaufbereitung erfolgt im ersten Schritt durch die Transkription der 30 Protokolle, differenziert in die vier Teilkompetenzen a) Fragestellung formulieren, b) Hypothesen generieren, c) Experiment planen, d) Daten auswerten. Anschließend werden diese redigiert, d. h. die Inhalte werden deutlicher formuliert, wobei der Schreibstil erhalten bleibt (KRÜGER, RIEMEIER 2007, S. 97). Der Datenaufbereitung folgt die computergestützte Auswertung der Daten (KELLE 2012) durch die Ordnung der Inhalte sowie die Explikation. Abschließend werden die ausgewerteten Daten der vier Teilkompetenzen einem Kompetenzstufenmodell zugeordnet (s. Kap. 4.5.3), um den Kompetenzstand der Schülerinnen und Schüler abschließend theoriegeleitet bewerten zu können. Quantitative Verfahren ergänzen Teilbereiche der Ergebnisdarstellung, um im Sinne der Triangulation eine zusammenführende und abschließende Diskussion der Ergebnisse zu ermöglichen.

4.5.3 Messinstrument

Um die Operationalisierung und Evaluation der Ziele zu ermöglichen, wird ein Kompetenzstufenmodell als Evaluationsmatrix zur Bewertungsgrundlage entwickelt. Als Grundlage dient das Kompetenzentwicklungsmodell von HAMMANN (2004), das durch die Teilkompetenz Fragestellung formulieren erweitert und der Interventionsstudie entsprechend angepasst wird. Demnach erfolgt die Differenzierung der Experimentierkompetenz in vier (statt drei) Dimensionen. Erweitert wird das Kompetenzmodell hinsichtlich der Teilkompetenz Fragestellung formulieren. Die Abstufungen erfolgt vom höchsten Niveau, das durch eine logische Formulierung gekennzeichnet ist (Frage wird adäquat formuliert; Frage steht im Zusammenhang mit dem Phänomen oder Problem; Frage ist überprüfbar). Als Grundlage dieser Stufe wurden Definitionen herangezogen, wonach die Formulierung einer Fragestellung so erfolgen sollte, dass sie naturwissenschaftlich untersucht werden kann (MAYER, ZIEMEK 2006, S. 6). Weiterhin resultiert sie aus der Konfrontation und damit aus dem Zusammenhang mit dem Phänomen oder Problem (OTTO 2009, S. 6; GRUBE 2010, S. 4). Die Abstufung zur niedrigeren Stufe (3) erfolgt schrittweise durch die Reduzierung der naturwissenschaftlichen Überprüfbarkeit. Die folgende Abstufung wird durch den fehlenden Zusammenhang definiert (Stufe 2), so dass in der niedrigsten Stufe (1) keine Fragestellung formuliert wird. Eine zweite Anpassung des bereits bestehenden Modells erfolgt in Stufe (4) der Teilkompetenz Planung eines

Experiments. Diese Stufe wird um den Faktor Kontrollansatz erweitert, da er explizit als Defizit von Schülerinnen und Schüler aufgeführt wird. Die viergliedrige Stufung wird demnach beibehalten (HAMMANN 2004, 200 ff.) und der vorliegenden Konzeption angepasst. Die Stufen „geben Auskunft über Kompetenzverläufe, also gestufte Fähigkeiten und damit Grade der Entwicklung von Kompetenzen“ (HAMMANN 2004, S. 196). Das für die Forschungsarbeit konzipierte Kompetenzstufenmodell ist der Tabelle 16 zu entnehmen.

Tabelle 16: Kompetenzstufenmodell und Evaluationsmatrix der qualitativen Studie (verändert nach HAMMANN 2004)

| | Frage formulieren | Hypothesen generieren | Planung eines Experiments | Daten auswerten |
|---|--|---|---|---|
| 4 | logische Formulierung der Fragestellung <ul style="list-style-type: none"> Frage wird adäquat formuliert Frage steht im Zusammenhang mit dem Phänomen oder Problem Frage ist überprüfbar | systematische Suche nach Hypothesen und erfolgreiche Hypothesenrevision <ul style="list-style-type: none"> Hypothesen beziehen sich auf die Fragestellung multiple Hypothesen werden formuliert (H1 und H0) erfolgreiche Hypothesenrevision | systematischer Umgang mit Variablen und Kontrollansatz <ul style="list-style-type: none"> abhängige und unabhängige Variablen werden adäquat differenziert Variation der unabhängigen Variable erfolgt Kontrollvariablen werden konstant gehalten Kontrollansatz vorhanden | Daten werden in adäquater Weise zur Überprüfung von Hypothesen herangezogen <ul style="list-style-type: none"> Beobachtung wird genau beschrieben Ergebnisse werden auf Problem rückbezogen und fachlich korrekt entsprechend dem Raumbeispiel interpretiert Analyse gelingt auch bei Anomalien (z.B. Messfehlern) |
| 3 | teilweise logische Formulierung der Fragestellung <ul style="list-style-type: none"> Frage steht im Zusammenhang mit dem Phänomen oder Problem Frage ist nicht überprüfbar | systematische Suche nach Hypothesen <ul style="list-style-type: none"> Hypothesen beziehen sich auf die Fragestellung multiple Hypothesen werden formuliert (H1 und H0) Hypothesen werden nicht revidiert | systematischer Umgang mit Variablen <ul style="list-style-type: none"> abhängige und unabhängige Variablen werden adäquat differenziert Variation der unabhängigen Variable erfolgt Kontrollvariablen werden konstant gehalten Kontrollansatz fehlt | weitgehend logische Analyse der Daten, jedoch Probleme bei der Bewertung von Daten, die den eigenen Erwartungen widersprechen <ul style="list-style-type: none"> logische Erklärung der Daten Schwierigkeiten beim Umgang mit Anomalien (Fehlinterpretationen, Widersprüche bei Daten, die den Erwartungen widersprechen) methodisches Vorgehen wird nicht reflektiert oder Ergebnisse nicht oder ungenau auf Problem rückbezogen (interpretiert) |
| 2 | unlogische Formulierung der Fragestellung <ul style="list-style-type: none"> Frage steht nicht mit Phänomen oder Problem im Zusammenhang Frage ist nicht überprüfbar | unsystematische Suche nach Hypothesen <ul style="list-style-type: none"> Hypothesen werden formuliert Hypothesen beziehen sich nicht auf die Fragestellung Es werden nicht alle Hypothesen formuliert Hypothesen beziehen sich nicht logisch aufeinander | teilweise systematischer Umgang mit Variablen <ul style="list-style-type: none"> Variablen werden identifiziert fehlerhafte Variation der Variablen fehlende Kontrollvariablen | unlogische Analyse der Daten <ul style="list-style-type: none"> Beobachtung wird beschrieben Daten werden auf Hypothesen bezogen Wechsel bzw. beibehalten der Hypothesen, obwohl die Datenlage es nicht zulässt Widersprüche treten beim Erklären der Ergebnisse auf unlogische Rückschlüsse werden gezogen |
| 1 | keine Frage beim Experimentieren <ul style="list-style-type: none"> keine Formulierung der Fragestellung | keine Hypothesen beim Experimentieren <ul style="list-style-type: none"> keine Hypothesenformulierung | unsystematischer Umgang mit Variablen <ul style="list-style-type: none"> Variablenveränderung ohne erkennbares System Vorgehen entspricht intuitivem Vorgehen (no plan) | Daten werden nicht auf Hypothesen bezogen <ul style="list-style-type: none"> Beobachtung wird beschrieben Hypothesen werden nicht verifiziert bzw. falsifiziert kein Bezug auf Hypothesen keine Erklärung der Ursachen |

4.5.4 Gütekriterien

Neben dem Design und dem Untersuchungsplan ist die Sicherung der Qualität der Ergebnisse zu gewährleisten. FLICK (2011b) benennt als Gütekriterien qualitativer Forschung die Validität, Objektivität und Reliabilität. Um die Validität sicherstellen zu können, basiert die Auswahl auf den gleichen Probanden, den an der Interventionsstudie teilnehmenden Schülerinnen und Schülern. Ziel der qualitativen Analyse ist die Ergänzung der quantitativen Studie, um den Kompetenzerwerb der Schülerinnen und Schüler (Versuchsgruppe) möglichst lückenlos nachvollziehen und evaluieren zu können. Um die Ergebnisse der beiden Studien im Interpretationskapitel vergleichen und integrieren zu können, müssen die Daten auf Grundlage der gleichen Probanden erhoben werden. Hinsichtlich der Ausgangslage und Kontrolle der Störvariablen (s. Kap. 6.2) wird deutlich, dass die Schülerinnen und Schüler als normal (KRÜGER, RIEMEIER 2007, S. 95) bezeichnet werden können. In der vorliegenden Studie bedeutet dies, die Probanden der Versuchsgruppen weisen durchschnittliche Werte im Kompetenzgrad auf. Das Alter wird auf die Jahrgangsstufe 6 begrenzt.

Die Durchführungsobjektivität der Experimentierdurchführung wird durch standardisierte Instruktionen innerhalb der Unterrichtsstunden gewährleistet. Zwar kann aus organisatorischen Gründen die Durchführung der einzelnen Unterrichtsstunden nicht durch eine einzige Person erfolgen, jedoch werden die beteiligten Lehrkräfte in einer Gesprächsrunde sowie durch standardisierte Materialien und Vorgaben angeleitet. MAYRING (2003) und KRÜGER und RIEMEIER (2007) definieren fünf Kriterien für die Verfahrensgültigkeit: „Nachvollziehbare Verfahrensdokumentation, schrittweise Vorgehen, das von einer unabhängigen Person kontrolliert und ergänzt wird, argumentative Interpretationsabsicherung, vertrauensvolle Mitwirkung der Probanden sowie interne methodologische Triangulation“ (KRÜGER, RIEMEIER 2007, S. 95). Die Verfahrensdokumentation sowie das schrittweise Vorgehen werden in der vorliegenden Arbeit aufgezeigt. Die Mitwirkung der Probanden wird bereits zu Beginn der Interventionsstudie erfragt und durch die Zustimmung der Erziehungsberechtigten abgesichert. Durch den Prozess der Intervention fassen die Probanden Vertrauen in die Methode. Weiterhin werden sie ausschließlich durch ihre reguläre Lehrkraft unterrichtet und begleitet, zu der bereits im Vorfeld ein Vertrauensverhältnis besteht. Dieses Verhältnis wird nicht durch externe Personen gestört. Die Kontrolle der Auswertungsphasen erfolgt hingegen durch eine externe Person.

Die Reliabilität wird durch zwei Aspekte gewährleistet. Zum einen erfolgt die Codierung von insgesamt zwei Personen (Inter-Coder-Reliabilität), zum anderen wird die Zuverlässigkeit gewährt, da die Ergebnisse durch mehrere Schülerexperimente an unterschiedlichen Schulen abgesichert werden.

4.5.5 Transkription

Unter Verwendung qualitativer Analysemethoden wurden die Protokolle (Textanalyse) zunächst gesichtet und transkribiert (s. Anhang Kap. III). Eine Glättung der Protokolle erfolgte. Dies ist die häufigste Methode der Transkription (KUCKARTZ 2007, S. 42). Die Protokollinhalte wurden dabei nicht verändert, Ergänzungen werden angezeigt (z. B. Klammer). In der Teilkompetenz 3 (Planung) wurden die Schülerergebnisse aufgrund der bildlichen und graphischen Darstellungen der Probanden auf ihre Richtigkeit geprüft und in eine angemessene Kurzform überführt. Da die Protokolle schriftliche Dokumente sind und keine Ton- oder Videoaufnahmen beinhalten, erfordert die vorliegende Transkription einen geringeren Rahmen. Die Protokolle wurden durch die Lernenden entsprechend den methodischen Schritten des Experimentierens vorstrukturiert. Diese Struktur wurde in der Transkription beibehalten, so dass jeweils vier übergeordnete Abschnitte (F-Fragestellung formulieren, H-Hypothesen generieren, P-Planung eines Experiments, A-Daten auswerten) differenziert wurden, die den Arbeits- und Protokollschritten der Probanden gleichkommen. Dies entspricht zudem den Zielen der Analysen, d. h. die Kompetenzstufungen der einzelnen Teilkompetenzen sowie spezifische Problemfelder dergleichen zu identifizieren. Die Schülerinnen und Schüler arbeiteten in Kleingruppen von etwa drei Personen. Da eine Anonymisierung der Teilnehmer erforderlich ist, erhalten die 30 Protokolle Zuordnungscode, die den fünf teilnehmenden Klassen der Intervention (Versuchsgruppen) entsprechen (s. Tab. 17).

Tabelle 17: Übersicht der Zuordnungscode der Protokolle

| Klasse | Schulform | Zuordnungscode (Anzahl der Protokolle) |
|--------|-------------|---|
| 1 | IGS | A1 – A5 (5) |
| 2 | IGS | B6 – B12 (6) |
| 3 | IGS | C13 – C18 (6) |
| 4 | IGS | D19 – D25 (6) |
| 5 | Förderstufe | E26 – E30 (4) |

4.5.6 Kategorien, Codierung und Inter-Coder-Reliabilität

Unter Codieren wird „die Zuordnung von Kategorien zu relevanten Textpassagen bzw. die Klassifikation von Textmerkmalen verstanden“ (KUCKARTZ 2007, S. 57). Die Kategorie (Code) ist eine Bezeichnung, die der Zuordnung von Textstellen dient. Neben einzelnen Worten

können Sätze codiert werden (KUCKARTZ 2007, S. 57f). Die Vorstrukturierung der einzelnen Protokolle erfolgte in der Transkription durch Codes, die aus zwei Buchstaben und einer Zahl zusammengesetzt sind. Somit steht B_F für die formulierte Fragestellung der Gruppe B7.

Tabelle 18: Codebeispiel

| Fragestellung Gruppe B7 | |
|-------------------------|---|
| Code | Inhalt |
| B7_F | Vermischt sich das Wasser mit niedrigem Salzgehalt mit Wasser mit hohem Salzgehalt? |

Als Basis der Codierung wird entsprechend der Forschungskonzeption das deduktive Vorgehen verwendet, bei dem die Kategoriensysteme vordefiniert sind (KUCKARTZ 2007, S. 66). Die Kategorien entsprechen dem von HAMMANN (2004) entwickelten und der vorliegenden Studie angepassten Kompetenzstufungssystem des Experimentierens (s. Tab. 16). Vier mal vier Kategorien werden identifiziert, die den vier Teilkompetenzen (F-Fragestellung formulieren, H-Hypothesen generieren, P-Planung eines Experiments, A-Daten auswerten) sowie den vier Stufungen entsprechen (s. Tab. 19). Eine detaillierte Codieranleitung wurde konzipiert und ist dem Anhang zu entnehmen (s. Anhang Kap. IV).

Tabelle 19: Übersicht der Kategoriensysteme

| Stufung | Fragestellung formulieren | Hypothesen generieren | Planung eines Experiments | Daten auswerten |
|---------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------|
| I | (F_1) | (H_1) | (P_1) | (A_1) |
| II | (F_2) | (H_2) | (P_2) | (A_2) |
| III | (F_3) | (H_3) | (P_3) | (A_3) |
| IV | (F_4) | (H_4) | (P_4) | (A_4) |

Alle Textpassagen wurden durch eine der 16 Codes verschlüsselt (s. Anhang Kap. V). Die Zuordnung der Textpassage erfolgt auf Grundlage des Kompetenzstufungssystems bzw. der Codieranleitung (s. Anhang Kap. IV). Die Codes werden als Faktencodes klassifiziert, so dass ihnen eine gewisse Objektivität zugesprochen wird. Somit können die Kriterien der Reliabilität gesichert werden, was im Sinne der Inter-Coder-Reliabilität durch zwei unabhängig voneinander durchgeführte Codierer (Personen) erfolgt (KUCKARTZ 2007, S. 61). Als Zweitcodierer wurde eine Expertin auf dem Gebiet der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung eingesetzt, die unabhängig von der Erstcodierung die Zweitcodierung an den identischen Protokollen durchführte. Die Tabelle (s. Tab. 20) verdeutlicht die Reliabilität der Kategorien durch drei Werte: (1) Anzahl an Übereinstimmungen und gesamten Codierung², (2) Holsti-Koeffizienten (r_H) (3) prozentualer Übereinstimmungskoeffizient (r_U). Der Holsti-Koeffizient wurde gewählt, da bei der Codierung keine fehlenden Werte auftreten, es eine

² Cod. = 54/56 entspricht 54 Übereinstimmungen von 56 Codierungen

geringe Anzahl an Ausprägungen gab und die Variablen nominalskaliert vorlagen. Der Holsti-Koeffizient beruht auf dem Paarvergleich (RÖSSLER 2005, S. 190). Da die Codierung von zwei Personen erfolgte, eignet sich der Paarvergleich zur Überprüfung der Reliabilität. Die Kritik des Holsti-Koeffizienten liegt insbesondere in der fehlenden Zufallskorrektur. Da eine zufällige Übereinstimmung aufgrund der Methode nicht zu erwarten ist, wird im Folgenden der Holsti-Koeffizient (r_H) gewählt, er entspricht der prozentualen Übereinstimmung.

Tabelle 20: Inter-Coder-Reliabilität (Holsti)

| Variable | Name | Fälle | Cod. | r_H | $r_{\bar{U}}$ |
|---------------|-----------------------|-----------|----------------|-------------|---------------|
| F_1 | Fragestellung Stufe 1 | 30 | 0/0 | 1 | 100% |
| F_2 | Fragestellung Stufe 2 | 30 | 0/0 | 1 | 100% |
| F_3 | Fragestellung Stufe 3 | 30 | 2/4 | 0,50 | 50% |
| F_4 | Fragestellung Stufe 4 | 30 | 54/56 | 0,96 | 96% |
| H_1 | Hypothesen Stufe 1 | 30 | 0/0 | 1 | 100% |
| H_2 | Hypothesen Stufe 2 | 30 | 4/4 | 1 | 100% |
| H_3 | Hypothesen Stufe 3 | 30 | 16/16 | 0,94 | 100% |
| H_4 | Hypothesen Stufe 4 | 30 | 40/40 | 0,97 | 100% |
| P_1 | Planung Stufe 1 | 30 | 0/0 | 1 | 100% |
| P_2 | Planung Stufe 2 | 30 | 6/6 | 1 | 100% |
| P_3 | Planung Stufe 3 | 30 | 24/26 | 0,92 | 92% |
| P_4 | Planung Stufe 4 | 30 | 26/28 | 0,92 | 92% |
| A_1 | Auswertung Stufe 1 | 30 | 8/10 | 0,80 | 80% |
| A_2 | Auswertung Stufe 2 | 30 | 6/7 | 0,85 | 85% |
| A_3 | Auswertung Stufe 3 | 30 | 22/22 | 1 | 100% |
| A_4 | Auswertung Stufe 4 | 30 | 20/21 | 0,95 | 95% |
| $r_{\bar{U}}$ | | 30 | 220/240 | 0,91 | 91% |

Ein Übereinstimmungskoeffizient ($r_{\bar{U}}$) von 91% wird ermittelt, errechnet aus der Anzahl der übereinstimmenden Codierungen mit der Anzahl der Gesamtcodierung (220 zu 240). Die Reliabilität wird ab 90% als sehr gut eingestuft und ab 80% als gut (NEUENDORF 2002, S. 143). Die Kategorie F_3 (Fragestellung Stufe 3) liegt unterhalb des empfohlen Reliabilitäts-werts und zeichnet sich zugleich durch eine geringe Codieranzahl aus. Eine genauere Diskussion dieser Kategorie erfolgt im Diskussionskapitel (s. Kap. 7.4.1). Die verbleibenden Kategorien werden als gut oder sehr gut eingestuft, so dass insgesamt von einer hohen Reliabilität ausgegangen werden kann.

5 Darstellung der Unterrichtseinheit

Die Konzeption der Unterrichtseinheit zur Intervention basiert auf den Erkenntnissen der theoretischen Grundlagen (s. Kap. 2) und wird für Schülerinnen und Schüler der Jahrgangsstufe 6 von Gesamt- und Realschulen entwickelt. Als thematischer Schwerpunkt wird das Thema Wasser – Süßwasser- und Salzwasserphänomene/-probleme an ausgewählten Raumbeispielen – gewählt.

5.1 Versuchsgruppe

Die Intervention fokussiert die Förderung der Experimentierkompetenz durch problemorientiertes Lernen differenziert in die Teilkompetenzen

- a) Fragestellung formulieren,
- b) Hypothesen generieren,
- c) Planung eines Experiments,
- d) Daten auswerten (Auswertung und Interpretation).

In Kapitel 2.5.1 wurden die empirisch erhobenen Defizite der Schülerinnen und Schüler hinsichtlich der Methode des Experimentierens aufgeführt. Diese finden besondere Berücksichtigung und gezielte Förderung in der Intervention, um die Experimentierkompetenz durch problemlösendes Lernen entwickeln zu können.

In der Teilkompetenz a) Fragestellung formulieren werden die Probanden gefördert, eine naturwissenschaftliche Fragestellung zu formulieren. Entsprechend GRUBE (2010) sollen die Schülerinnen und Schüler eine naturwissenschaftliche Fragestellung von einer nicht-naturwissenschaftlichen unterscheiden lernen. Erstere muss durch ein Experiment überprüft werden können. Im Bereich b) Hypothesen generieren lernen die Probanden, Hypothesen aufzustellen, auch solche, die als unwahrscheinlich erachtet werden. Bei Hypothesen handelt es sich um begründete Aussagen, bezogen auf die Fragestellung. Zu einer Hypothese (H1) wird die Gegenhypothese (H0) formuliert. So kann die spätere Falsifizierung und Verifizierung ermöglicht werden. Die Hypothesenrevision erfolgt im nächsten Schritt auf Grundlage der gesammelten Daten, so dass datenbasierende Rückschlüsse gezogen werden (KLAHR, DUNABR 1988; DE JONG, VAN JOOLINGEN 1998). In der Teilkompetenz c) Experiment planen erfolgt die Förderung dahingehend, dass weitreichende Informationen gesammelt werden und nicht solche, die gezielt nur die eigenen Vermutungen bestätigen. Die Planung muss die Überprüfung der Hypothesen implizieren. Die korrekte Variablenidentifikation mit abhängigen und unabhängigen Variablen, entsprechenden Kontrollvariablen, Kontrollansatz und Variationen werden im Fokus stehen, um den beschriebenen Defiziten (DE JONG, VAN JOOLINGEN 1998; HAMMANN 2004) entgegenzuwirken. Die Förderung der d) Datenauswer-

tung besteht aus den Teilbereichen Auswertung und Interpretation. Hinsichtlich der Auswertung erfolgt eine gezielte Förderung der Auswertung von Text-, Tabellen- und Graphikanteilen (LACHMAYER, NERDEL, PRECHTL 2007). Sie sollen einerseits die Datensätze angemessen auswerten, um die Hypothesenrevision und Ergebnisberichte zu ermöglichen (DE JONG, VAN JOOLINGEN 1998; KLAHR ET AL. 1993). Andererseits werden die Schülerinnen und Schüler in der Interpretationsphase zur Methodenreflexion und Übertragung der Erkenntnisse auf das Raumbeispiel angeleitet.

5.1.1 Methodische Konzeption

Die Konzeption der Einheit folgt den Grundsätzen des problemlösenden Lernens (MANDL 2003, S. 10; MAYER, ZIEMEK 2006, S. 7; RINSCHADE 2007, S. 67; HASSELHORN, GOLD 2009, S. 262 ff.) und der Graduierung der Offenheit eines Experiments (PRIEMER 2011). Dabei ist das **problemlösende Lernen** durch die methodischen Prinzipien der aktiven Konstruktion, der Selbstständigkeit, der Kooperation und des situierten Kontexts charakterisiert. Im Folgenden wird die methodische Konzeption der Intervention vorgestellt. Die Prinzipien des problemlösenden Lernens und der Aspekt der Offenheit sind dabei zu berücksichtigen.

Instruktionen rücken schrittweise in den Hintergrund, die Schülerinnen und Schüler werden durch die **aktive Konstruktion** zur eigenständigen Generierung und Konstruktion (konstruktivistische Lernform) angeregt. Instruktion erfolgt durch unterstützende Aktivitäten seitens des Lehrers (MANDL 2003; HASSELHORN, GOLD 2009), insbesondere zu Beginn der Unterrichtseinheit. Es werden Materialien vorgegeben oder vorstrukturiert und zudem Hilfekarten (s. Anhang Kap. II) zur Verfügung gestellt. In der Unterrichtseinheit werden die Schülerinnen und Schüler schrittweise zur eigenständigen Generierung geführt, indem die Instruktion durch den Lehrer langsam mit dem Ziel der Schüleraktivierung und Selbstständigkeit minimiert wird.

In der vorliegenden Konzeption wird die **Selbstständigkeit** durch selbstbestimmtes Lernen ermöglicht (HASSELHORN, GOLD 2009, S. 302). Die direkte und adaptive Instruktion, die insgesamt durch angeleitetes Vorgehen hinsichtlich vorgegebener authentischer Fachinhalte, Strategien, Methoden, Lösungen, Lösungswege und Phasen charakterisiert ist, wird zugunsten einer höheren Selbststeuerung der Lernenden schrittweise ersetzt. In der Unterrichtseinheit erfolgt, entsprechend dem Öffnungsgrad der Methode des Experiments, die Entwicklung vom stärker angeleiteten Vorgehen zum eigenständigen, offenen Experimentieren. Instruktion erfolgt in den ersten Sequenzen durch vorstrukturierte Materialien, Planungshilfen, Hilfekarten und Hilfestellung durch die Lehrkraft in allen Dimensionen. Die Öffnung geht mit der Reduktion der Vorstrukturierung, insbesondere in den Dimensionen der Strategie, Methode und Phase einher und beinhaltet die Herabsetzung der Hilfestellung seitens der Lehr-

kraft auf rein organisatorische und beratende Aufgaben, wie die Problempräsentation zum Stundenbeginn und Materialbereitstellungen in Form eines Materialtisches. Ziel der Förderung ist die Entwicklung von eigenständigen Problemlösungsstrategien der Schülerinnen und Schüler im Rahmen des experimentellen Algorithmus. Demnach geht die Fremdsteuerung durch die Lehrkraft im Laufe der Intervention in selbstgesteuertes Lernen durch die Schüler über. Die Selbstbestimmung wird durch die freie Wahl des Vorgehens, der Gruppenprozesse (wer macht was) und Methodenwahl definiert. Zeitliche und räumliche Rahmenbedingungen müssen aufgrund der Vergleichbarkeit eingegrenzt werden.

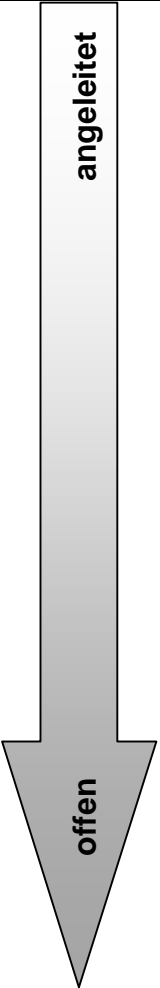
Um dem Aspekt des **kooperativen Lernens** gerecht zu werden, erfolgt die Erarbeitung in Kleingruppen von drei bis vier Schülerinnen oder Schülern. Entsprechend der kompetitiven Zielstrukturen bzw. der positiven Interdependenz (JOHNSON, JOHNSON 1994 nach HASSELHORN, GOLD 2009, S. 284 f.) können die Schülerinnen und Schüler die Lösungsstrategien nur entwickeln und durchführen, wenn sie gemeinsam arbeiten. Dies ist Voraussetzung, um die komplexe Methode mit Planungs- und Durchführungsphasen im zeitlichen Rahmen bewältigen zu können. Absprachen müssen getroffen werden, die die Problemformulierung (Fragestellung formulieren und Hypothesen generieren), Planung des Experiments (abhängige Variable und unabhängige Variablen), Organisation (Materialbeschaffung), Aufbau, Durchführung, Daten auswerten/Interpretation und Verschriftlichung umfassen. Durch das konsequente Vorgehen im Verlauf der Unterrichtseinheit werden die Mitglieder Spezialisten ihrer Gruppen. Die Zuordnung erfolgt entsprechend der Selbstbestimmung durch die Schülerinnen und Schüler.

Dem **situierten Lernen** entsprechend werden reale und authentische Probleme (z.B. Aralsee) bzw. Phänomene (z. B. Totes Meer) gewählt. Durch solch einen Kontext wird laut MANDL (2003) die Motivation der Schülerinnen und Schüler gefördert. So werden hier neben den rein kognitiven Prozessen auch emotionale Faktoren genutzt, um Betroffenheit und damit Motivation zu erzeugen bzw. an die Erfahrungen der Lernenden anzuknüpfen. Der spätere Transfer der Inhalte auf multiple Kontexte wird ermöglicht. Dabei wird das Experiment ausschließlich als Schülerexperiment konzipiert und durchgeführt. Rituale (Unterrichtseinstieg, Verortung, Experten) werden genutzt und in der Lernumgebung kontinuierlich angewendet (MANDL 2003, S. 10f.).

5.1.2 Konzeptioneller Überblick

Basierend auf dem Fachinhalt – Süßwasser- und Salzwasserphänomene/-probleme an ausgewählten Raumbeispielen – erfolgt die Öffnung des Experimentierens und damit die eigenständige Generierung schrittweise in zehn Sequenzen (s. Tab. 21).

Tabelle 21: Konzeption der Intervention (Versuchsgruppe)

| Sequenz | Thema | geförderte Kompetenz | Öffnungsgrad |
|---------|--|---|--|
| 1 | Boden speichert Wasser | Einführung in die Methode |  |
| 2 | Kapillarkraft des Bodens | Fragestellung formulieren | |
| 3 | Kapillarkraft des Bodens | Hypothesen generieren | |
| 4 | Bodenversalzung durch Bewässerung | Fragestellung formulieren Hypothesen generieren | |
| 5 | Bodenversalzung durch Bewässerung | Planung eines Experiments | |
| 6 | Bodenversalzung durch Bewässerung | Daten auswerten | |
| 7 | Phänomen Aralsee | Planung eines Experiments, Daten auswerten | |
| 8 | Tragfähigkeit des Salzwassers Phänomen Totes Meer | Fragestellung formulieren, Hypothesen generieren Planung eines Experiments Daten auswerten | |
| 9 | Kalt- und Warmströmungen in einem See | Fragestellung formulieren, Hypothesen generieren Planung eines Experiments Daten auswerten | |
| 10 | Salzgehalt der Ostsee | Fragestellung formulieren, Hypothesen generieren Planung eines Experiments Daten auswerten | |

Zu Beginn der Intervention werden die Schülerinnen und Schüler mit der Methode vertraut gemacht (Sequenz 1) und anschließend unter Anleitung und Vorgabe in die Teilkompetenzen Fragestellung formulieren und Hypothesen generieren (Sequenzen 2 und 3) eingeführt. Es folgt unmittelbar eine Festigung der ersten Teilkompetenzen (Sequenz 4), die durch eine Erweiterung der Eigenständigkeit durch Vorskizzieren und Hilfestellungen (Hilfekarten) gekennzeichnet ist. Anschließend werden die Teilkompetenzen Experiment planen und Daten auswerten (Sequenzen 5 und 6) durch angeleitetes Vorgehen in Form von vorgegebenem Vorgehen in allen Dimensionen (PRIEMER 2001, S. 325) gefördert (s. Abb. 6), die in der nächsten Sequenz geübt und gefestigt werden (Sequenz 7). Der Öffnungsgrad erweitert sich zum vorskizzierten Vorgehen. In den nächsten drei Sequenzen werden die Schülerinnen und Schüler die Experimentiermethode von der ersten (Fragestellung formulieren) bis zur letzten Teilkompetenz (Daten auswerten) jeweils an einem Beispiel üben. Der Öffnungsgrad nimmt

dabei von Sequenz 8 mit einem hohen Maß an vorskizziertem Vorgehen hin zur Sequenz 10 mit einem hohen Grad an Offenheit zu.

5.1.3 Darstellung der Intervention

Die Sequenzen basieren auf den Prinzipien des problemlösenden Lernens. Die einzelnen Themenbausteine beinhalten authentische Probleme oder Phänomene. In Form von Fotografien, Erzählungen oder thematischen Karten werden diese zu Beginn der Problemfindungsphase präsentiert. Anschließend erfolgt gegebenenfalls die Verortung. Die Interventionseinheit der Versuchsgruppe ist dem Anhang zu entnehmen (s. Anhang Kap. II).

Sequenz 1 (Boden speichert Wasser)

Ziel dieser Sequenz ist die Vermittlung des experimentellen Algorithmus. Basierend auf den Ergebnissen des Vorwissenstests (Normierungsstudie) wird deutlich, dass die Probanden geringe Kenntnisse von der Methode des Experimentierens besitzen. Demnach erfolgt im ersten Schritt eine Hinführung zur Methode exemplarisch am Beispiel ‚Boden speichert Wasser‘. Durch die direkte Vorgabe eines Experiments entwickeln die Schülerinnen und Schüler den experimentellen Algorithmus, so dass der methodische Ablauf in den Folgesequenzen schematisch vorliegt (s. Anhang Kap. II AB 3). Die Probanden erstellen anhand der ihnen zur Verfügung gestellten Materialien eine Experimentiermappe (s. Anhang Kap. II), die sie jederzeit einsehen und als Hilfestellung nutzen können (Ausnahme Sequenz 10). Durch die Visualisierung des experimentellen Algorithmus in der ersten Sequenz bleibt das weitere methodische Vorgehen präsent. Charakterisiert ist Sequenz 1 durch ein hohes Maß an Vorgaben in allen Dimensionen und damit einhergehend eine sehr geringe Öffnung des Experiments.

Sequenz 2 (Kapillarkraft des Bodens Teil 1)

Sequenz 2 fokussiert die Förderung der Teilkompetenz Fragestellung formulieren. Die Lernenden werden erstmals mit der Entwicklung einer naturwissenschaftlichen Fragestellung vertraut gemacht. Ziel ist es, die Vorstellung der Schülerinnen und Schülern darüber zu fördern, welche Merkmale eine überprüfbare naturwissenschaftliche Fragestellung beinhaltet. Zur Problemfindung wird ein Bild präsentiert, das eine grüne Pflanze auf trockenem Boden zeigt. Die Schüler erkennen, dass die Pflanze trotz offensichtlicher Trockenheit des Bodens leben kann. Anschließend wird die Herleitung einer entsprechenden Fragestellung durch die Darstellung eines Experimentaufbaus zur Untersuchung der Kapillarkraft des Bodens (s. Abb. 10) ermöglicht. Die Darstellung verdeutlicht den Lernenden in Form eines einfachen Experiments, dass Boden Untergrundwasser gegen die Schwerkraft an die Bodenoberfläche leiten kann.

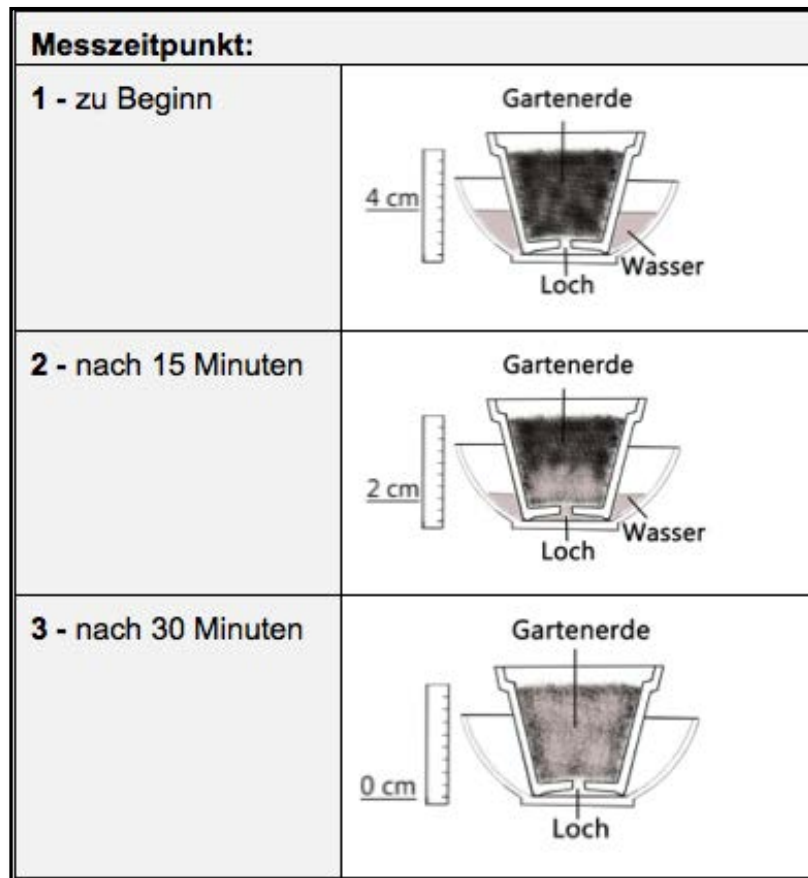


Abbildung 10: Fragestellung formulieren (Sequenz 2)

Die Merkmale werden in einem Hinweiskasten verdeutlicht und durch Hilfestellungen zur Formulierung einer überprüfbaren Fragestellung ergänzt (s. Anhang Kap. I AB 4). Entsprechend der Forderung, die Schülerinnen und Schüler zur methodischen Anwendung zu führen, erfolgt die Sequenz verstärkt durch Instruktion und Vorstrukturierung seitens des Lehrers (Fremdsteuerung). Die Lehrkraft verwendet verstärkt Hilfestellungen und arbeitet gemeinsam in einem Lehrer-Schülergespräch die Merkmale zur Formulierung einer angemessenen Fragestellung heraus. Inhaltlich lernen die Schülerinnen und Schüler die Kapillarkraft des Bodens kennen und ziehen Rückschlüsse auf das Phänomen der blühenden Pflanze auf trockenem Boden.

Sequenz 3 (Kapillarkraft des Bodens Teil 2)

In der Sequenz 3 wird die Hypothesengenerierung gefördert. Schülerinnen und Schüler wissen oftmals nicht, wie Hypothesen aufgestellt werden (DE JONG, VAN JOOLINGEN 1998, S. 183). Daher wird im ersten Schritt der Begriff erläutert und die Formulierung einer Hypothese (1) mit Gegenhypothese (0) am Beispiel Kapillarkraft des Bodens, aufbauend auf der ersten Sequenz, eingeleitet (s. Anhang Kap. II AB 5). Auch in dieser Sequenz ist der Unterricht

durch eine verstärkte Lehrerzentrierung, Vorstrukturierung, Hilfestellung und Instruktion gekennzeichnet. Der Öffnungsgrad nach PRIEMER (2011) ist weiterhin gering einzustufen mit einer resultierenden stärkeren Vorgabe. Im Lehrer-Schülergespräch werden Begriffe erläutert, Merkmale definiert und erste Formulierungen angeleitet. Hilfssätze nach OTTO ET AL. (2011) und MÖNTER, HOF (2012) (‘Je...,desto...’ bzw. ‘Wenn...,dann...’) leiten die Generierungen ein und werden in den folgenden Sequenzen als Grundlage bzw. Hilfestellung verwendet.

Sequenz 4 (Bodenversalzung durch Bewässerung Teil 1)

Diese Sequenz dient der Übung und Festigung der zuvor geförderten Teilkompetenzen am Beispiel Bodenversalzung durch Bewässerung. Weiterhin durch Anleitung, Instruktion und Vorstrukturierung gekennzeichnet, erarbeiten die Schülerinnen und Schüler hier selbstständig, ohne Lehrer-Schülergespräch, eine naturwissenschaftliche Fragestellung mit entsprechender Hypothese (1) und Gegenhypothese (0). Die Sequenz wird in der Problemfindungsphase durch eine Fotografie eines bewässerten Areals in einer ariden Region eröffnet. Die zweite Fotografie zeigt eine weiße Kruste auf einer landwirtschaftlichen Fläche. Die Hinführung zur Problemfrage erfolgt durch eine kurze schriftliche Erläuterung der Bewässerung in ariden Regionen und der Visualisierung eines Experiments (s. Abb. 11). Die Schülerinnen und Schüler lernen, dass Mineralsalze im Boden durch das Wasser gelöst und durch die Kapillarkraft des Wassers an die Oberfläche transportiert werden. Dort entsteht eine Salzkuste, die den Boden für weitere landwirtschaftliche Nutzungen unbrauchbar macht. Ein nachhaltiger Umgang mit der Ressource Boden wird im Sinne der multiplen Kontexte vermittelt.

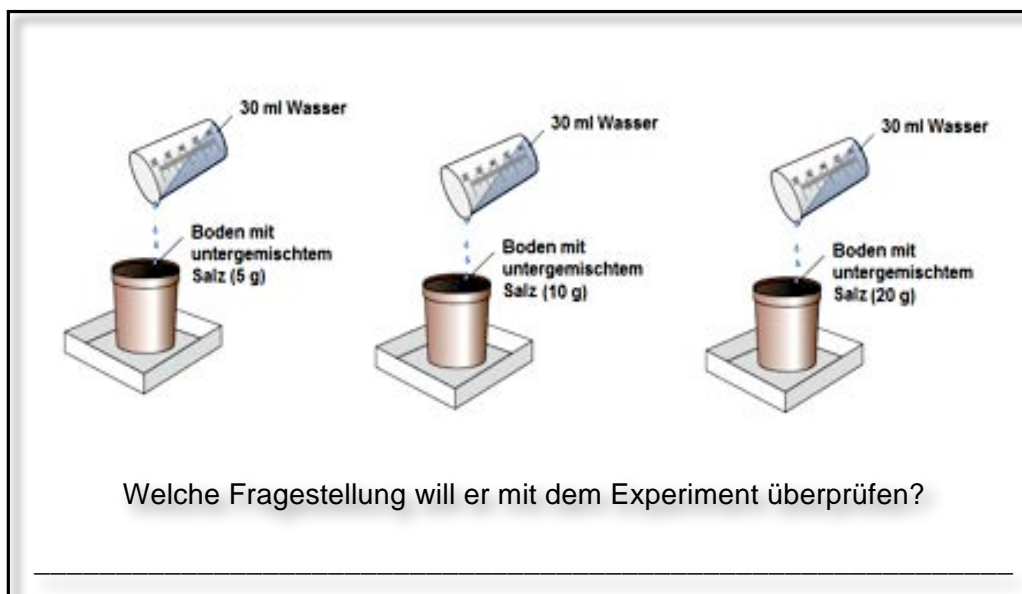


Abbildung 11: Fragestellung formulieren (Sequenz 4) (verändert nach PETER, HOF 2011, S. 45)

Entsprechend den theoretischen Grundlagen erfolgt auch in dieser Phase eine verstärkte Instruktion und Vorstrukturierung, die allerdings langsam durch eine Erhöhung der Selbstständigkeit charakterisiert ist. Die Probanden formulieren demnach selbstständig die Fragestellung. Um der Gefahr der Überforderung von leistungsschwächeren Schülerinnen und Schülern entgegenzuwirken, werden ab Sequenz 4 Hilfekarten eingesetzt (s. Abb. 12). Sie werden von den Lehrkräften im Klassenraum ausgelegt und stehen den Lernenden fortan in den einzelnen Unterrichtsstunden zur freien Verfügbarkeit (s. Anhang Kap. II Hilfekarten).

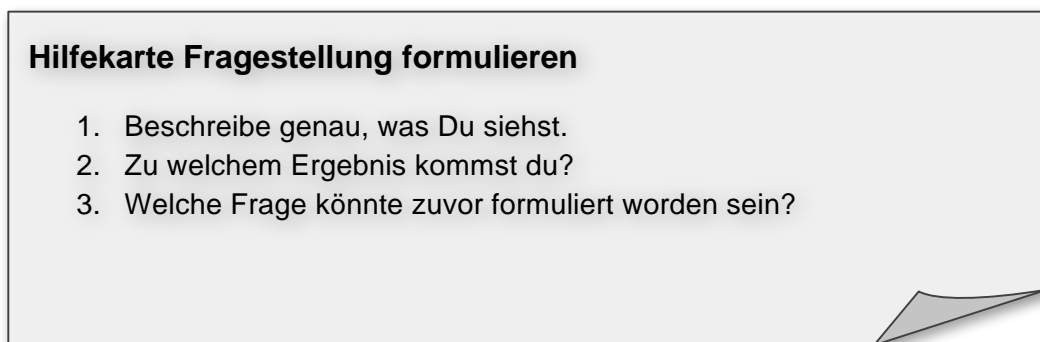


Abbildung 12: Hilfekarte Fragestellung formulieren (Sequenz 4)

Ausgehend von der Fragestellung, werden die Schülerinnen und Schüler angeleitet, eigenständig die Hypothesen abzuleiten. Auch für diese Teilkompetenz werden entsprechend dem Ziel, die Probanden zur Selbstständigkeit zu führen, Hilfekarten ausgelegt. Am Ende der Sequenz, in der Sicherungsphase, werden die Schülerergebnisse gemeinsam mit der Lehrkraft evaluiert.

Sequenz 5 (Bodenversalzung durch Bewässerung Teil 2)

Sequenz 5 fokussiert die Teilkompetenz Experiment planen. „Dabei stellt sich als wesentlich heraus, die Lernenden im systematischen Testen von Hypothesen zu schulen und mit der Idee des Kontrollansatzes vertraut zu machen“ (HAMMANN 2004, S. 199). Im ersten Schritt werden die Probanden mit der Planung eines Experiments vertraut gemacht. Die Identifikation von Variablen (abhängige, unabhängige und Kontrollvariablen) sind primäre Ziele. Die Einführung und Erläuterung der Begriffe abhängige und unabhängige Variable sowie Kontrollvariablen dienen als essentielle Grundlage der weiterführenden Arbeit. Erste Schritte zur Identifizierung entsprechender Variablen werden eingeleitet. Thematisch basieren die Inhalte der Sequenz weiterhin auf dem Problem der Bodenversalzung durch Bewässerung, so dass eine gedankliche Fortsetzung des in Sequenz 4 beginnenden Experiments erfolgen kann. Im zweiten Schritt werden die Begriffe und deren Bedeutungen gefestigt. Durch die Präsentation von drei Experimentierplänen (s. Abb. 13), von denen nur einer (Marias Plan) aufgrund falscher Kontrollvariablen (Laras Plan) bzw. fehlerhafter Variationen (Tims Plan) geeignet ist,

müssen die Schülerinnen und Schüler selbstständig das Wissen zur Planung eines Experiments anwenden, um das Experiment durchführen zu können.

| Laras Plan | | | | |
|--|--|-------------------|-----------------------|--|
| Unabhängige Variable | Abhängige Variable | Kontrollvariablen | | |
| <i>untergemischte Salzmenge im Boden (g)</i> | <i>sichtbarer weißer Belag auf der Bodenoberfläche</i> | <i>Boden (g)</i> | <i>Zeit (Stunden)</i> | <i>aufgeschüttete Wassermenge (ml)</i> |
| 0 | | 50 | 24 | 20 |
| 5 | | 50 | 24 | 30 |
| 20 | | 100 | 48 | 40 |

| Tims Plan | | | | |
|--|--|-------------------|-----------------------|--|
| Unabhängige Variable | Abhängige Variable | Kontrollvariablen | | |
| <i>untergemischte Salzmenge im Boden (g)</i> | <i>sichtbarer weißer Belag auf der Bodenoberfläche</i> | <i>Boden (g)</i> | <i>Zeit (Stunden)</i> | <i>aufgeschüttete Wassermenge (ml)</i> |
| 20 | | 50 | 24 | 30 |
| 20 | | 50 | 24 | 30 |
| 20 | | 50 | 24 | 30 |

| Marias Plan | | | | |
|--|--|-------------------|-----------------------|--|
| Unabhängige Variable | Abhängige Variable | Kontrollvariablen | | |
| <i>untergemischte Salzmenge im Boden (g)</i> | <i>sichtbarer weißer Belag auf der Bodenoberfläche</i> | <i>Boden (g)</i> | <i>Zeit (Stunden)</i> | <i>aufgeschüttete Wassermenge (ml)</i> |
| 0 | | 50 | 24 | 30 |
| 5 | | 50 | 24 | 30 |
| 20 | | 50 | 24 | 30 |

Abbildung 13: Planung eines Experiments (Sequenz 5)

Die Lernenden entscheiden auf Grundlage der zuvor erläuterten Experimentierkriterien, welcher Plan zur Durchführung des Experiments geeignet ist. Im dritten Schritt führen sie in kooperativer Lernform entsprechend dem problemlösenden Lernen das Experiment auf Basis des zuvor gewählten Experimentierplans (Marias Plan) durch. Der richtige Experimentierplan und die entsprechende Abbildung auf dem Arbeitsblatt leiten das imitatorische Vorgehen ein, so dass der Öffnungsgrad als gering eingestuft wird. Die Ergebnisse werden in das Protokoll (Marias Plan) eingetragen. Auf diese Weise werden die Probanden an das Protokollieren der Ergebnisse herangeführt. Kennzeichen der Phase sind weiterhin vorskizzierte Arbeitspläne (s. Anhang Kap. II AB 6 bis 8).

Sequenz 6 (Bodenversalzung durch Bewässerung Teil 3)

Ziel der Sequenz 6 ist die Einführung der Schülerinnen und Schüler in die vierte Teilkompetenz anhand der abschließenden Datenauswertung des Experiments zur Bodenversalzung durch Bewässerung. In der Auswertungsphase wird das Ergebnisprotokoll gesichtet und die

Beobachtungen formuliert. Daran schließt die Verifizierung und Falsifizierung der Hypothesen an. Dieser Schritt der Auswertungsphase wird in dieser Sequenz, entsprechend der konzeptionellen Planung der Intervention, angeleitet (s. Abb. 14).

Schau dir nun die Fragestellung und Hypothesen (Vermutungen) noch einmal an. Schreibe die Hypothesen in die Tabelle. Welche Hypothese kann bestätigt werden, trifft also zu? Welche Hypothese kann widerlegt werden, trifft also nicht zu? Kreuze an!

| | Hypothese ist bestätigt | Hypothese ist widerlegt |
|----------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Hypothese (1): | | |
| Gegenhypothese (0): | | |

Abbildung 14: Hypothesenüberprüfung (Sequenz 6)

Durch die Vorgabe und Vorstrukturierung des Arbeitsblattes werden die Schülerinnen und Schüler schrittweise an die Auswertung, Interpretation und Methodenreflexion herangeführt (s. Anhang Kap. II AB 10).

Sequenz 7 (Problem Aralsee)

Diese Sequenz beinhaltet die gezielte Wiederholung und Festigung der vorausgegangenen Teilkompetenzen (Planung eines Experiments und Daten auswerten) am Beispiel Aralsee. Als Einstieg in die Problemfindung wird eine Fotografie durch die Lehrkraft präsentiert, die ein Schiffswrack und ein Wüstenkamel auf weißgefärbtem Boden zeigt. Die Schülerinnen und Schüler lernen, dass Wasser durch Erwärmung verdunstet und Salz nicht. Die Transferierung der Erkenntnisse auf das Aralseeproblem erfolgt, so dass die Versalzung der Region durch die Wasserverdunstung erklärt werden kann. Da der Schwerpunkt der Sequenz auf der Förderung der Kompetenzen 3 und 4 liegt, werden die Problemfrage und Hypothesen vorgegeben (s. Anhang Kap. II AB 11 bis 13). Das weitere Vorgehen entspricht den Konzepten der Sequenzen 5 und 6, ist jedoch durch eine fortschreitende Reduktion der Vorstrukturierung gekennzeichnet mit dem Ziel, die Schülerselbstständigkeit und Kompetenzkonstruktion einzuleiten. Als Ergänzung zur Methode wird der Kontrollansatz eingeführt.

Sequenz 8 (Phänomen Totes Meer)

In Sequenz 8 werden die Schülerinnen und Schüler den experimentellen Algorithmus erstmals vollständig durchlaufen. Thematisch wird das Phänomen Totes Meer behandelt, das mit einer Fotografie in der Problemfindungsphase eröffnet wird. Ein Mann schwimmt auf dem Wasser, ohne Schwimmbewegungen auszuführen. Inhaltlich lernen die Schülerinnen und Schüler, dass Salzwasser eine höhere Dichte hat (schwerer ist) als Süßwasser und dadurch die Tragfähigkeit erhöht wird. Anhand von Strukturhilfen in den sechs Dimensionen nach PRIEMER (2011) in Form von vorstrukturierten Arbeitsblättern und Arbeitsmaterialien erarbeiten die Probanden die vier Teilschritte des Experiments einschließlich der praktischen Durchführung. Die Lehrersteuerung wird schrittweise in die Selbststeuerung übergeleitet. In dieser Phase müssen zunächst selbstständig eine Fragestellung und Hypothesen formuliert werden. Hilfestellung erfolgt durch graphische Abbildungen des Experimentaufbaus sowie durch beratende Funktionen seitens der Lehrkraft und der Verwendungsmöglichkeit von Hilfekarten. Neben der selbstständigen Formulierung der ersten beiden Teilkompetenzen konstruieren die Probanden erstmals den Experimentierplan eigenständig (s. Anhang Kap. II AB 15 & 16) unter Berücksichtigung der Kriterien eines Experiments (Variablenidentifikation, Variation, Kontrollansatz und Kontrollvariablen). Kennzeichen der Phase ist die Erhöhung der Selbstständigkeit durch weitere Reduktion der Vorstrukturierung.

Sequenz 9 (Sprungschicht des Sees)

In Sequenz 9 wird die Konzeption der vorausgegangenen Sequenz aufgegriffen und weitergeführt. Der Öffnungsgrad wird geweitet und die Schülerselbstständigkeit und Aktivierung nimmt zu, indem keine weiteren Hilfestellungen durch graphische Darstellungen oder Vorstrukturierungen des Experimentierplans geboten werden. Durch kooperatives Lernen in Form der positiven Interdependenz konstruieren die Probanden die Teilkompetenzen des experimentellen Algorithmus selbstständig. Ausschließlich die Hilfekarten und die Vorbereitung der Materialien bieten Orientierungsmöglichkeiten. Die Vorstrukturierung zeigt keine inhaltlichen Hilfen auf, sie bietet jedoch eine Anleitung zum Vorgehen. PRIEMER (2011) definiert diese Vorgabe durch die Phasendimension (Vorgehen vorstrukturiert). Inhaltlich wird kaltes und warmes Wasser auf Eigenschaftsunterschiede überprüft. Demnach ist kaltes Wasser (bis 4°C) schwerer (aufgrund der höheren Dichte) als warmes Wasser. Die Schüler überprüfen diese Eigenschaft durch das Experiment, in dem unterschiedlich temperiertes Wasser durch Einfärbung geschichtet wird (s. Anhang Kap. II AB 18). Dieses Experiment beinhaltet die inhaltlichen Voraussetzungen, welche die Probanden benötigen, um die letzte Sequenz der Unterrichtseinheit bewältigen zu können.

5.1.4 Offenes Experimentieren (Sequenz 10)

Die letzte Sequenz nimmt eine besondere Stellung in der Intervention ein, da diese als Grundlage zur Evaluierung der 4. und 5. Forschungsfrage fungiert.

In der Problemfindungsphase wird am Stundenbeginn eine thematische Karte der Ostsee präsentiert. Der Salzgehalt des Wassers wird dabei visualisiert. Er variiert regional von West nach Nordost abnehmend (s. Abb. 15).

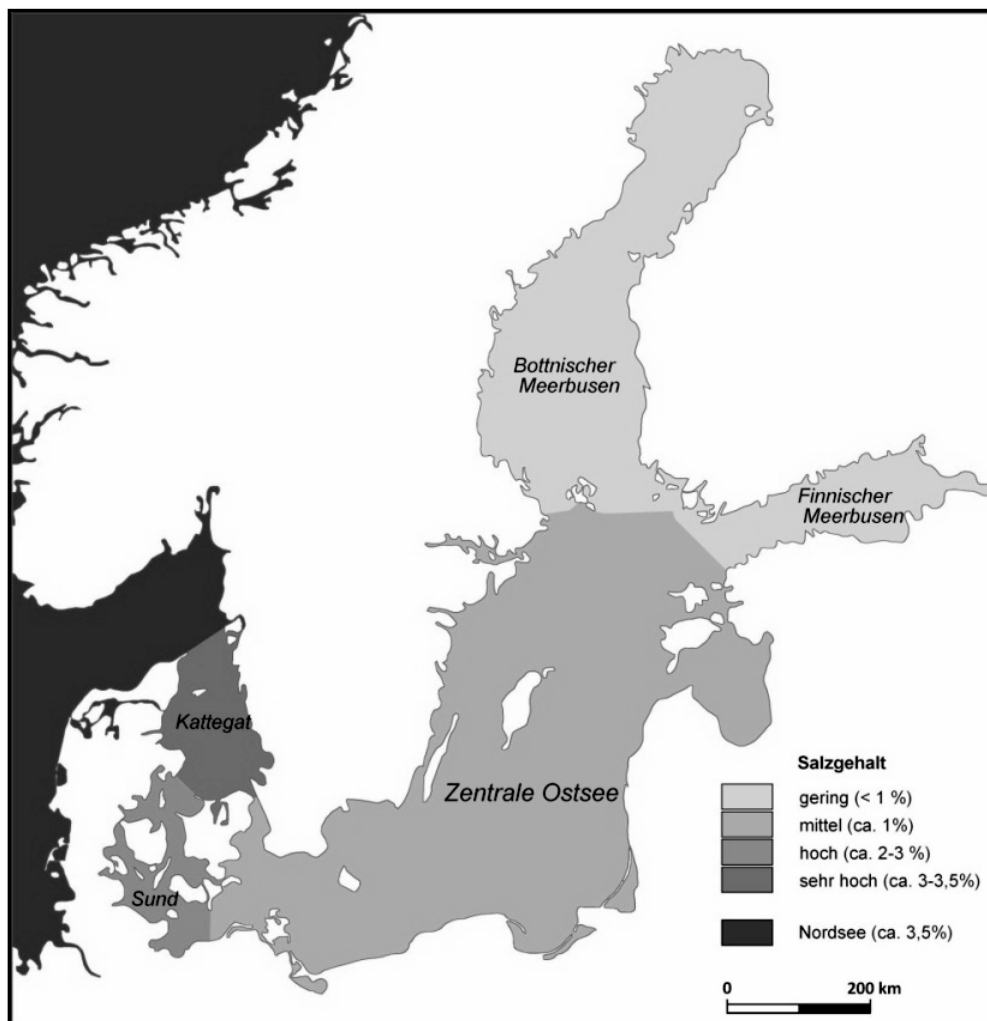


Abbildung 15: Salzgehalt der Ostsee (Sequenz 10)

Das Phänomen wird in der Problemfindungsphase besprochen. Die Ostsee, ein Binnenmeer, ist den Schülerinnen und Schülern bekannt. Laut Lehrplan wird in Hessen in der Jahrgangsstufe 5 die Unterrichtseinheiten „Deutschland im Überblick“ sowie „Ebbe und Flut bestimmen das Leben an der Küste“ (KULTUSMINISTERKONFERENZ 2013b) in Realschulen und „Leben in Räumen unterschiedlicher Naturlausstattungen; Regionaler Schwerpunkt: Deutschland“ (KULTUSMINISTERKONFERENZ 2013c) in Gymnasien behandelt. Die Sichtung der schulinternen

Stoffverteilungspläne der an der Intervention beteiligten Schulen verdeutlicht, dass das Thema in der Klassenstufe 5 behandelt wurde. Die Ostsee als Binnenmeer wird somit als bekannter Raum vorausgesetzt. Die Karte zeigt, dass der Salzgehalt der Ostsee von West nach Nordost abnimmt. Im Westen ist die Ostsee durch die Wasserstraße des Skagerrak zwischen Dänemark und Norwegen mit der Nordsee verbunden und zwischen Dänemark und Schweden durch die Wasserstraßen Kattegat, Øresund, Großer Belt und Kleiner Belt. Durch sie strömt das Salzwasser der Nordsee in die Ostsee. Im Nordosten fließt Süßwasser der Flüsse in die Ostsee. Somit wird die Ostsee als Binnenmeer im Westen durch Salzwasser und im Nordosten durch Süßwasser gespeist.

Die Lehrkraft präsentiert den Probanden einen Materialtisch (s. Anhang Kap. II Sequenz 10), auf dem alle Materialien vorzufinden sind, die in den vorausgegangenen Lernsequenzen verwendet wurden. Es handelt sich um eine Materialauswahl, bei der die Probanden selbstständig entscheiden, welche Materialien sie bei der Planung und Durchführung verwenden. Der Auftrag lautet, das Phänomen zu ergründen und zu erklären. In kompetitiver und kooperativer Arbeitsweise (Kleingruppen von drei bis vier Probanden) sollen die Schülerinnen und Schüler selbstständig und selbstbestimmt dem Phänomen des unterschiedlichen Salzgehalts der Ostsee nachgehen. Das Vorgehen wird von den Schülergruppen protokolliert und das Protokoll abschließend der Lehrkraft übergeben. Die Vorstrukturierung basiert in dieser Stunde ausschließlich auf der Vorgabe des Phänomens sowie des Materialtischs (Materialpool). Auf weitere Strukturhilfen wird in dieser Sequenz verzichtet.

Ziel der Stunde ist die Überprüfung der Kompetenzen. Es wird erhoben, ob die Probanden den Weg des experimentellen Algorithmus unter Beachtung der zuvor geförderten Teilkompetenzen vollziehen:

1. Fragestellung formulieren (naturwissenschaftlich und überprüfbar);
2. Hypothesen generieren (H1 Hypothese und H0 Gegenhypothese) mit Hypothesenrevisi-
on;
3. Planung eines Experiments (abhängiger Variable, unabhängigen Variablen, Kontrollva-
riablen und Kontrollansatz);
4. Daten auswerten (Beobachtung, Erklärung und Interpretation).

Entsprechend der konzeptionellen Planung erreicht der Öffnungsgrad in Sequenz 10 das Maximum. Erläutert an den Dimensionen nach PRIEMER (2011) bedeutet dies, dass hinsichtlich der Strategie keine Vorgaben gemacht werden und diese Dimension durch ein hohes Maß an Offenheit gekennzeichnet ist. Die Dimension der Methode erfährt ein mögliches Maß an Offenheit. Demnach werden in den vorausgegangenen Sequenzen die Materialien experimentiergerecht vorbereitet, die Probanden erhalten vorbereitete Materialien an ihren Ar-

beitsplätzen zugeteilt. In dieser Phase wird die Graduierung geöffnet und die Probanden müssen aus einem Materialpool auswählen, der auf einem Materialtisch durch die Lehrkraft präsentiert wird. Das höchste Niveau der Offenheit – die Schülerinnen und Schüler wählen frei ihren Materialbedarf aus und die Lehrkraft stellt diese anschließend zur Verfügung – kann an dieser Stelle nicht erfolgen, um das standardisierte Verfahren der Intervention nicht zu gefährden. Die Dimension Lösungsmöglichkeit bleibt aus dem gleichen Grund auf eine Lösung beschränkt. Der Lösungsweg ist hingegen unbeschränkt. Die Probanden konstruieren selbstständig einen Lösungsweg, der die Evaluierung des Phänomens ermöglicht. Werden die Phasen (Fragestellung formulieren, Hypothesen generieren, Planung eines Experiments/Durchführung und Daten auswerten/Interpretation) und damit das Vorgehen in den Sequenzen 1 bis 9 vorgegeben bzw. vorstrukturiert, so erreicht die Offenheit in der letzten Sequenz das Maximum. Die Probanden erhalten keine Arbeitsblätter oder andere Vorgaben zum Vorgehen. Der Fachinhalt wird nur insofern vorgegeben, als dass das Phänomen und somit das Stundenthema zu Beginn der Sequenz aufgezeigt wird. Demnach erfolgt die Vorgabe des Fachinhalts. Dies ist notwendig, um die Evaluierung der Kompetenzentwicklung der Probanden unter standardisierten Bedingungen gewährleisten zu können. Eine Übersicht der Graduierung des Öffnungsgrades ist der Abbildung 16 zu entnehmen.

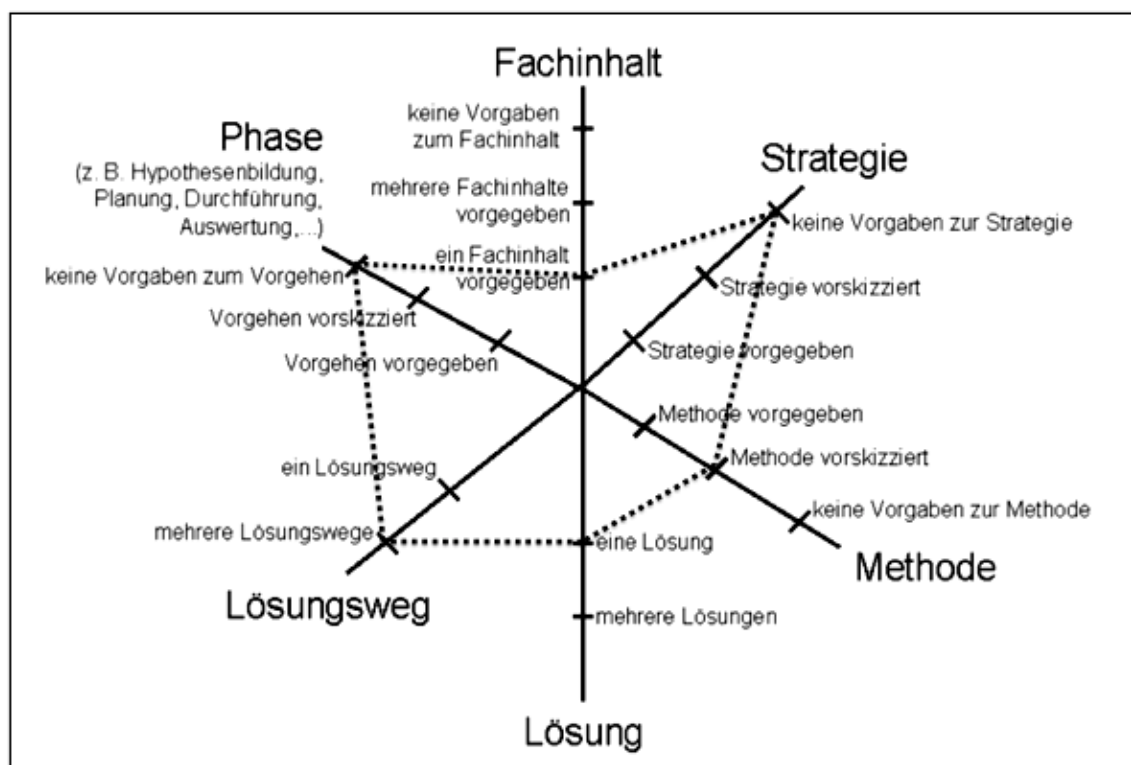


Abbildung 16: Öffnungsgrad der Unterrichtseinheit (verändert nach PRIEMER 2011, S. 325)

In Sequenz 10 erreicht die Intervention der Versuchsgruppe das höchstmögliche Maß an Offenheit, eingebettet in den Ansatz des problemlösenden Lernens. Einen Überblick stellt Tabelle 22 dar.

Tabelle 22: Konzeption des problemlösenden Lernens und Grad der Offenheit des Experimentierens in Sequenz 10

| Offenes Experimentieren (Grade der Offenheit) | Problemorientiertes Lernen (Grad der Schüler selbstständigkeit und Aktivierung) | | | |
|--|--|--|-------------------------------|---|
| | | aktiv konstruierend | selbstgesteuert | kooperativ |
| | Fachinhalt | Lehrer (Vorgabe des Fachinhalt) | Lehrer (fremdgesteuert) | Schüler (ein Fachinhalt vorgegeben) |
| | Strategie | Schüler (keine Vorgabe zur Strategie) | Schüler (selbstgesteuert) | Schüler (kooperativ; keine Vorgabe) |
| | Methode | Schüler/Lehrer (Materialpool) | Schüler/Lehrer (Mischform) | Schüler (kooperativ durch Materialpool) |
| | Lösung | Lehrer (eine Lösungen) | Schüler (selbstgesteuert) | Schüler (kooperativ; eine Lösung) |
| | Lösungsweg | Schüler/Lehrer (mehrere bekannte Lösungswege) | Schüler (selbstgesteuert) | Schüler (kooperativ; mehrere Lösungsweg) |
| | Phase | Schüler (keine Vorgabe zur Vorgehen) | Schüler (selbstgesteuert) | Schüler (kooperativ; Vorgehen offen) |

5.2 Vergleichsgruppe

Die Unterrichtseinheit der Vergleichsgruppe basiert auf der Unterrichtsmethode des gelenkten Unterrichtsgesprächs. Die Fremdsteuerung durch den Lehrer, basierend auf Instruktion, Anleitung und Darbietung, sind dabei maßgeblich. Die einzelnen Unterrichtsstunden entsprechen jeweils dem gleichen Vorgehen, das durch einen informierenden a) Einstieg mit Aktivierung des Vorwissens und Verortung gekennzeichnet ist, der b) Erarbeitung des Inhaltes und dem abschließenden c) Festigungsgespräch. Die b) Erarbeitung erfolgt durch standardisierte Informations- und Erarbeitungsblätter mit entsprechenden Fragestellungen zur Thematik, so dass die Unterrichtssituationen der Vergleichsgruppen unter möglichst standardisierten und kontrollierten Bedingungen ablaufen. Eine Standardisierung der Unterrichtseinheit der Vergleichsgruppe hinsichtlich der zeitlichen und inhaltlichen Komponente wird gewährleistet, die zur Evaluierung der Ergebnisse erforderlich ist. Die inhaltlichen Schwerpunkte der Sequenzen der Vergleichsgruppe entsprechen den Themen der Versuchsgruppe und werden aufgrund der Zeitkomponente ergänzt bzw. vertieft. Die erste Se-

quenz ist dabei identisch mit der Unterrichtsstunde der Versuchsgruppe (Boden speichert Wasser – Einführung in die Methode). Somit erhalten die Probanden der Versuchsgruppe eine theoretische Einführung in die Methode des Experimentierens. Die weiteren Sequenzen zielen unter Verwendung des gelenkten Unterrichtsgesprächs und dem Medium des Informationsblattes auf die kognitive Förderung der geographischen Inhalte zum Thema Wasser – Süßwasser- und Salzwasserphänomene/-probleme an ausgewählten Raumbeispielen – ab. Das Konzept ist der Tabelle 23 zu entnehmen.

In den Unterrichtseinheiten der Versuchs- und Vergleichsgruppe werden Abbildungen verwendet, die zum Verständnis der Inhalte zwingend erforderlich sind. Diese entsprechen stellenweise den Abbildungen des paper-and-pencil-tests. Es wird darauf geachtet, dass keine-

| Sequenz | Thema | Lerninhalte |
|---------|--|---|
| 1 | Boden speichert Wasser | Einführung in die Methode des Experimentierens |
| 2 | Kapillarkraft des Bodens | Kapillarkraft des Bodens - Boden leitet Untergrundwasser entgegen der Schwerkraft an die Bodenoberfläche |
| 3 | Kapillarkraft des Bodens | |
| 4 | Bodenversalzung durch Bewässerung | Mineralsalze werden im Boden durch Wasser gelöst und gelangen durch die Kapillarkraft des Wassers an die Bodenoberfläche – eine Salzkruste resultiert |
| 5 | Bodenversalzung durch Bewässerung | |
| 6 | Phänomen Aralsee | aufgrund fehlender Zuflüsse reichert sich das Salz im Aralsee an – durch die Verdunstung des Wassers bleibt eine Salzwüste zurück |
| 7 | Phänomen Aralsee | |
| 8 | Tragfähigkeit des Salzwassers Phänomen Totes Meer | der hohe Salzgehalt des Toten Meeres erhöht die Tragfähigkeit des Wassers – Menschen können ohne Schwimmbewegungen schwimmen |
| 9 | Kalt-Warmströmungen in einem See | kälteres Wasser hat eine höhere Dichte (geringeres Volumen) als warmes Wassers – im Sommer entsteht eine Sprungschicht im See |
| 10 | Salzgehalt der Ostsee | Salzwasser hat eine geringere Dichte als Süßwasser – der Salzgehalt der Ostsee ist unterschiedlich |

Gruppe (Versuchs- oder Vergleichsgruppe) einen Vor- oder Nachteil bei der Beantwortung des Leistungstests durch die in der Intervention verwendeten Graphiken erhält.

Tabelle 23: Konzeption der Unterrichtseinheit (Vergleichsgruppe)

6 Ergebnisse

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt von der quantitativen zur qualitativen Analyse entsprechend der methodischen Konzeption der Forschungsarbeit.

6.1 Normierungsstudie

In der Normierungsstudie wird die Lernausgangslage in einer Querschnittsstudie (ROST 2007. S. 134) erhoben. Die Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler hinsichtlich der Methode des Experimentierens sowie des Fachwissens zum Thema – Süßwasser- und Salzwasserphänomene/-probleme – werden untersucht, um daraus Rückschlüsse über die Güte des Messinstruments ziehen zu können, Auswahlfaktoren der Interventions- und Evaluationsstudie zu bestimmen und die abschließende Evaluierungen der Effektivität der Intervention zu ermöglichen.

Um ein breites Spektrum des Kompetenzstandes erhalten zu können, werden Schülerinnen und Schüler der Jahrgänge 5 bis 9 verschiedener Schularten mit Hilfe eines paper-and-pencil-tests befragt. Der gymnasiale Bildungsweg wird dabei nicht berücksichtigt, da der Fokus auf den niedrigeren Bildungswegen im Sinne einer gezielten Förderung leistungsschwächerer Schülerinnen und Schüler liegt.

6.1.1 Experimentierkompetenz im Klassenstufenvergleich

Im ersten Schritt erfolgt die deskriptive Darstellung der Experimentierkompetenz der Schülerinnen und Schüler, differenziert in die einzelnen Klassenstufen mit anschließendem Signifikanztest zwischen den Jahrgangsstufen mittels T-Test. Dabei wird die gesamte Kompetenz, addiert aus den einzelnen Teilkompetenzen der Methode, dargestellt.

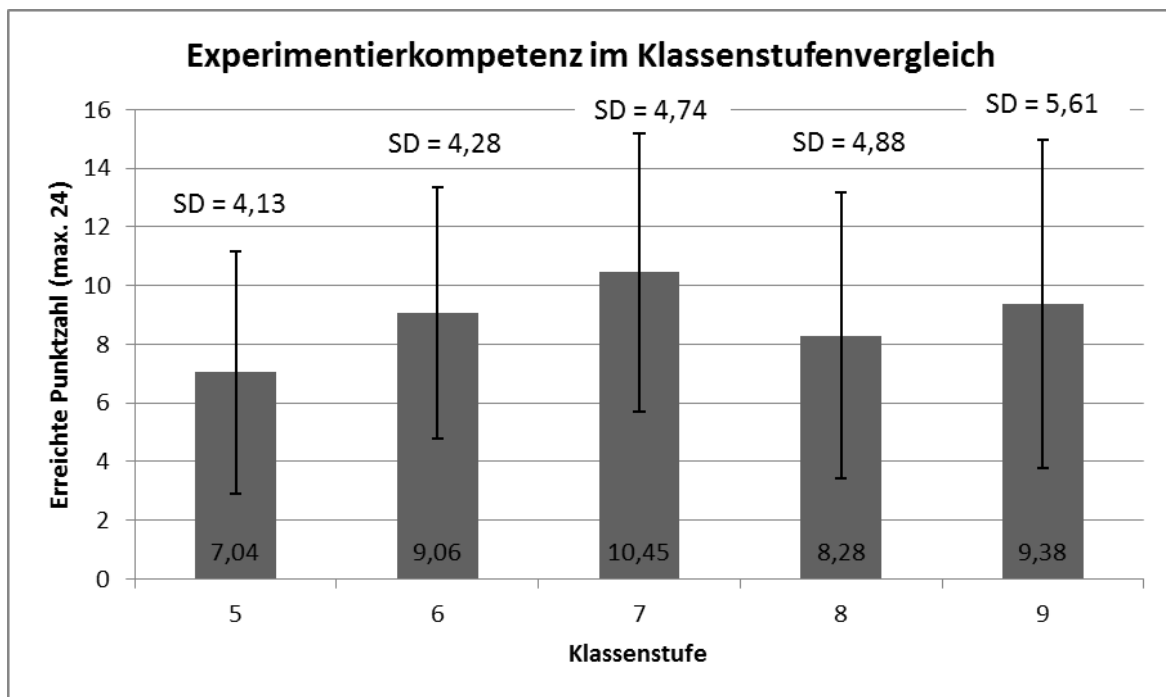


Abbildung 17: Kompetenzgrad der Methode des Experimentierens (Klassenstufen 5 bis 9) (MW \pm 1 SD)

Deutlich wird, dass sich das Kompetenzniveau zwischen den einzelnen Jahrgangstufen unterscheidet. Vom Jahrgang 5 ($N = 97$; MW = 7,04; SD = 4,1³) steigt das Niveau zum Jahrgang 6 ($N = 251$; MW = 9,06; SD = 4,28) und 7 ($N = 162$; MW = 10,45; SD = 4,88) an. Zur Klassenstufe 8 fällt das Niveau um 2,17 Punkte im Mittel auf 8,28 Punkte (SD = 4,88). Die Schülerinnen und Schüler der Jahrgangsstufe 9 erreichen einen Kompetenzgrad von 9,38 Punkten im Mittel (SD = 5,61). Die Klassenstufen werden paarweise aufeinanderfolgend mit dem T-Test auf statistische Unterschiede analysiert. Als statistisch relevant werden die folgenden Ergebnisse berichtet: Zwischen den Jahrgängen 5 und 6 ($d = 0,77$; $p < 0,001$), 6 und 7 ($d = 0,31$; $p = 0,002$) sowie 7 und 8 ($d = 0,45$; $p = 0,003$) liegen jeweils signifikante Unterschiede vor, steigend von der Klassenstufe 5 zu 7 und abnehmend zur Jahrgangsstufe 8 mit kleiner Effektstärke zwischen den Jahrgängen 6 und 7. Zwischen den Klassenstufen 8 und 9 liegen im Kompetenzgrad keine signifikanten Unterschiede vor ($d = 0,21$; $p = 0,22$).

6.1.2 Teilkompetenzen des Experimentierens im Klassenstufenvergleich

Weiterhin wird die Experimentierkompetenz in die vier Teilkompetenzen a) Fragestellung formulieren, b) Hypothesen generieren, c) Experiment planen, d) Daten auswerten sowie nach Jahrgangsstufen differenziert und anhand der deskriptiven Statistik dargestellt. Die statistischen Prüfungen der Unterschiede durch den T-Test erfolgt nicht, da diese im vorausge-

XCI

³ Abkürzungserläuterungen: N = Anzahl; MW = Mittelwert; SD = Standardabweichung

gangenen Kapitel erfolgten und die hier vorliegende Darstellung der differenzierten Ergänzung dient. Hier werden Median und Quartile als Maße der zentralen Tendenz berichtet, weil diese die Daten aufgrund der Schiefe ihrer Verteilung genauer beschreiben als MW und SD. Zur besseren Darstellung und Übersicht wird die maximal zu erreichende Punktzahl auf 6 Punkte geteilt, indem die Gesamtkompetenz (maximal 24 zu erreichende Punkte) rechnerisch durch 4 dividiert wird. Es resultiert eine bessere Übersicht, auch im Vergleich zum Fachwissen (siehe unten) ohne Ergebnisbeeinflussung.

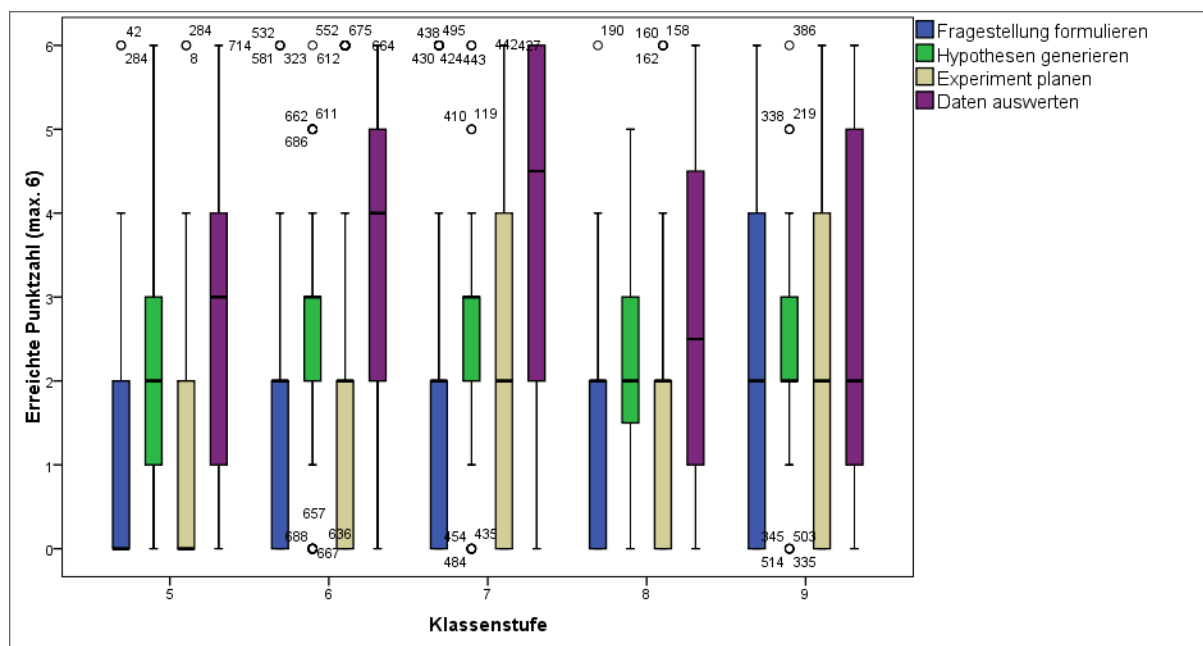


Abbildung 18: Kompetenzgrad der Teilkompetenzen der Methode des Experimentierens (Klassenstufen 5 bis 9)

Bei maximal 6 zu erreichenden Punkten werden die folgenden Ergebnisse für die einzelnen Kompetenzbereiche deutlich (s. Abb. 18; Tab. 24):

Tabelle 24: Kompetenzgrad der Teilkompetenzen des Experimentierens (Klassenstufen 5 bis 9) mit N, Median und Quartile

| | | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|----------------------------------|----------|-----|-----|---------|---------|-----|
| Fragestellung formulieren | N | 97 | 251 | 162 | 60 | 84 |
| | Median | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | Quartile | 0-2 | 1-3 | 1-3 | 1-3 | 1-3 |
| Hypothesen generieren | N | 97 | 251 | 162 | 60 | 84 |
| | Median | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 |
| | Quartile | 1-3 | 2-4 | 2-4 | 1-3 | 1-3 |
| Experiment planen | N | 97 | 251 | 162 | 60 | 84 |
| | Median | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | Quartile | 0-2 | 1-3 | 1-3 | 1-3 | 1-3 |
| Daten auswerten | N | 97 | 251 | 162 | 60 | 84 |
| | Median | 3 | 4 | 4,5 | 2,5 | 2 |
| | Quartile | 2-4 | 3-5 | 3,5-5,5 | 1,5-3,5 | 1-3 |

Entsprechend der Experimentierkompetenz erreichen die Schülerinnen und Schüler des Jahrgangs 7 insgesamt das höchste Kompetenzniveau. Insbesondere in den Teilkompetenzen Hypothesen generieren (Median = 3) und Daten auswerten (Median = 4,5) haben die Probanden den höchsten Kompetenzstand. Die Schülerinnen und Schüler der Klassenstufe 6 verzeichnen entsprechend das zweithöchste Niveau in der Teilkompetenz Hypothesen generieren (Median = 3) und im Bereich Daten auswerten (Median = 4). Den geringsten Kompetenzstand erreichen die Schülerinnen und Schüler der Jahrgangsstufe 5, insbesondere in den Teilkompetenzen Fragestellung formulieren (Median = 0) und Experiment planen (Median = 0).

6.1.3 Teilkompetenzen des Experimentierens im Vergleich (Gesamtstichprobe)

Ergänzend werden die Teilkompetenzen der Experimentierkompetenz in der Gesamtstichprobe betrachtet und auf signifikante Unterschiede getestet.

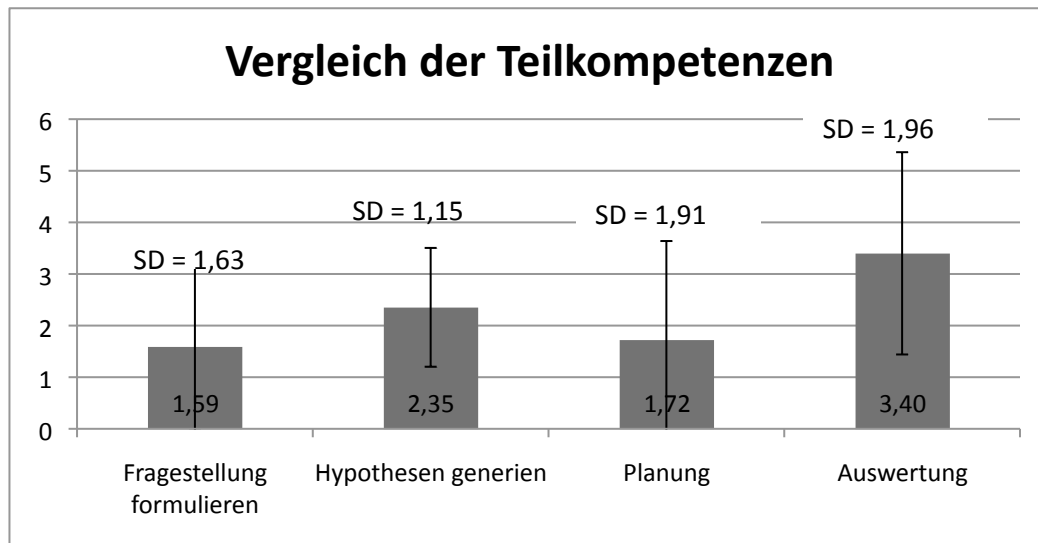


Abbildung 19: Vergleich der Teilkompetenzen (MW \pm 1 SD)

Es werden Unterschiede zwischen den Teilkompetenzen deutlich. Eine Reihenfolge mit zunehmendem Kompetenzgrad wird ermittelt: Fragestellung formulieren \rightarrow Planung \rightarrow Hypothesen generieren \rightarrow Auswertung. Die paarweisen Vergleiche der Teilkompetenzen belegen signifikante Unterschiede zwischen allen Teilkompetenzen ($p < 0.001$) mit Ausnahme der Teilkompetenzen Fragestellung formulieren und Planung (Bonf. = 1,0).

6.1.4 Fachwissen im Klassenstufenvergleich

Neben der methodischen Kompetenz wird das Fachwissen zum Thema – Süßwasser- und Salzwasserphänomene/-probleme – erhoben. Der deskriptiven Darstellung folgt die statistische Prüfung mittels T-Test.

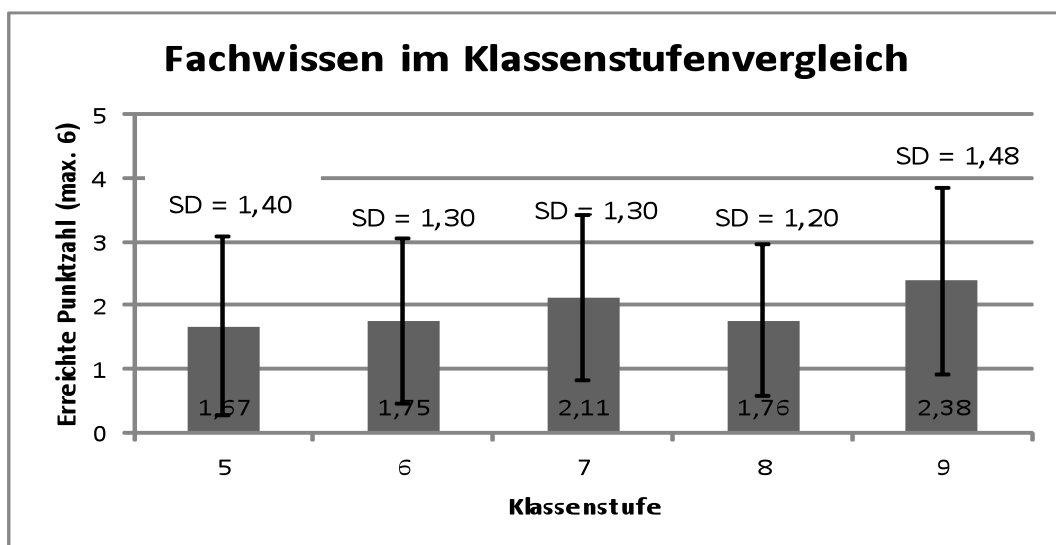


Abbildung 20: Kompetenzgrad des Fachwissenstest (Klassenstufen 5 bis 9) (MW \pm 1 SD)

Die Probanden der Jahrgangsstufe 5 ($N = 89$) erreichen im Fachwissenstest im Mittel 1,67 Punkte ($SD = 1,40$). In der Jahrgangsstufe 6 ($N = 234$) werden 1,75 Punkte ($SD = 1,30$) belegt. Die Schülerinnen und Schüler verzeichnen in der Klassenstufen 7 ($N = 148$) 2,11 Punkte im Mittel ($SD = 1,30$) und die Probanden der Jahrgangsstufe 8 ($N = 54$) 1,76 Punkte ($SD = 1,20$). In der Klassenstufe 9 ($N = 73$) werden 2,38 Punkte im Mittel ($SD = 1,48$) erhoben. Die statistischen Prüfungen mit dem T-Tests durch paarweise Vergleiche der aufeinanderfolgenden Klassenstufen zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Jahrgangsstufen 6 und 7 ($d = 0,28$; $p = 0,009$) sowie 8 und 9 ($d = 0,46$; $p = 0,01$). Die Effektstärke zwischen den Jahrgängen 6 und 7 wird als schwach bezeichnet. Die Ergebnisse der verbleibenden Überprüfungen sind statistisch nicht signifikant. Auch zwischen den Jahrgangsstufen 7 und 9 werden keine statistisch signifikanten Unterschiede aufgezeigt ($d = 0,19$; $p = 0,16$), obwohl eine Zunahme um 0,27 Punkte im Mittel deutlich wird. Demnach erreichen die Schülerinnen und Schüler der Klassenstufe 9 das höchste nicht signifikant relevante Niveau im Fachwissenstest.

6.1.5 Schulartenvergleich (Experimentierkompetenz und Fachwissen)

Die Darstellung und statistische Überprüfung auf signifikante Unterschiede hinsichtlich der unterschiedlichen Schularten erfolgt durch deskriptive Datenanalyse sowie durch den T-Test. Untersucht werden die Schülerinnen und Schüler der Jahrgangsstufen 5 bis 7, die in den Schularten Haupt-, Realschule und IGS vertreten sind. Auf die Darstellung der Jahrgangsstufen 8 und 9 wird an dieser Stelle, aufgrund der Gleichheit des hessischen Lehrplans und schulinterner Lehrpläne, verzichtet.

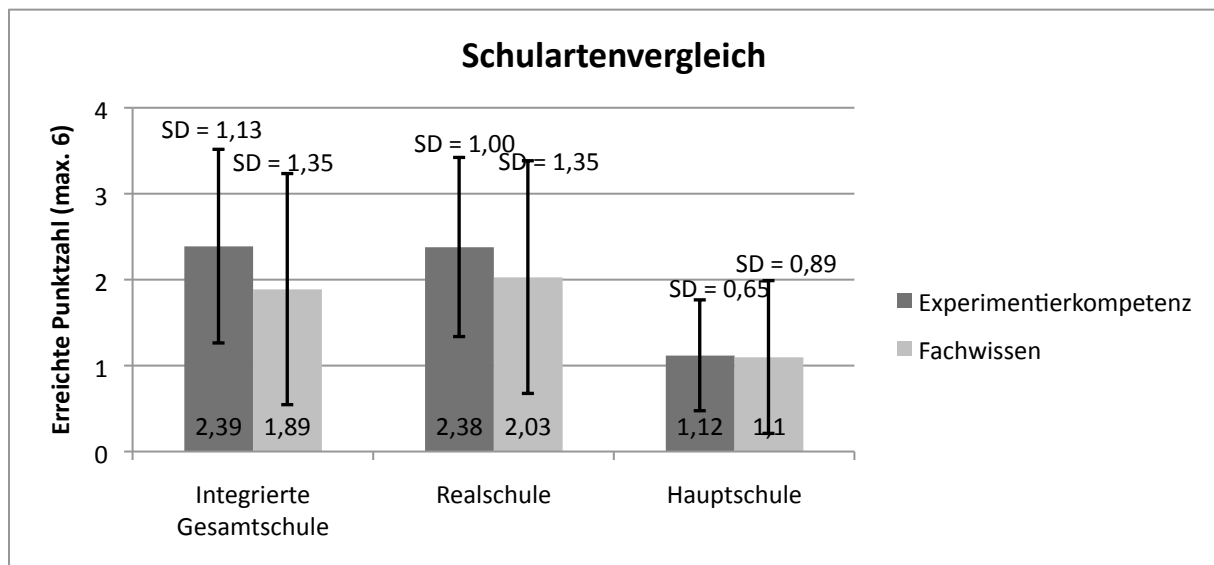


Abbildung 21: Experimentierkompetenz und Fachwissen im Schulformvergleich (Klassenstufen 5-7) (MW \pm 1 SD)

Innerhalb der Experimentierkompetenz werden für die verschiedenen Schularten folgende Ergebnisse deutlich: Integrierte Gesamtschule (IGS) (N = 353) (Experimentierkompetenz: MW = 2,39, SD = 1,13; Fachwissen: MW = 1,89, SD = 1,35), Realschule (N = 72) (Experimentierkompetenz: MW = 2,38, SD = 1,00; Fachwissen: MW = 2,03, SD = 1,35) und Hauptschule (N = 41) (Experimentierkompetenz: MW = 1,12, SD = 0,65; Fachwissen: MW = 1,10, SD = 0,89).

Die statistische Überprüfung ergibt Unterschiede in der Experimentierkompetenz zwischen den Schularten IGS und Hauptschule ($d = 1,38$; $p < 0,001$) sowie zwischen Realschule und Hauptschule ($d = 1,49$; $p < 0,001$) mit jeweils signifikanten Unterschieden und großen Effektstärken. Im Fachwissen werden ebenfalls signifikante Unterschiede und mittlere Effektstärken zwischen IGS und Hauptschule ($d = 0,69$; $p < 0,001$) und große Effektstärken zwischen Realschule und Hauptschule ($d = 0,81$; $p < 0,001$) belegt. Zwischen den Ergebnissen der IGS und Realschule liegen keine signifikanten Unterschiede vor (Experimentierkompetenz $d = 0,01$, $p = 0,89$; Fachwissen $d = 0,1$, $p = 0,44$).

6.1.6 Geschlechterspezifische Effekte (Experimentierkompetenz und Fachwissen)

Unterschiede zwischen den weiblichen und männlichen Probanden werden deskriptiv dargestellt und mittels T-Test und Cohens d auf signifikante Unterschiede geprüft.

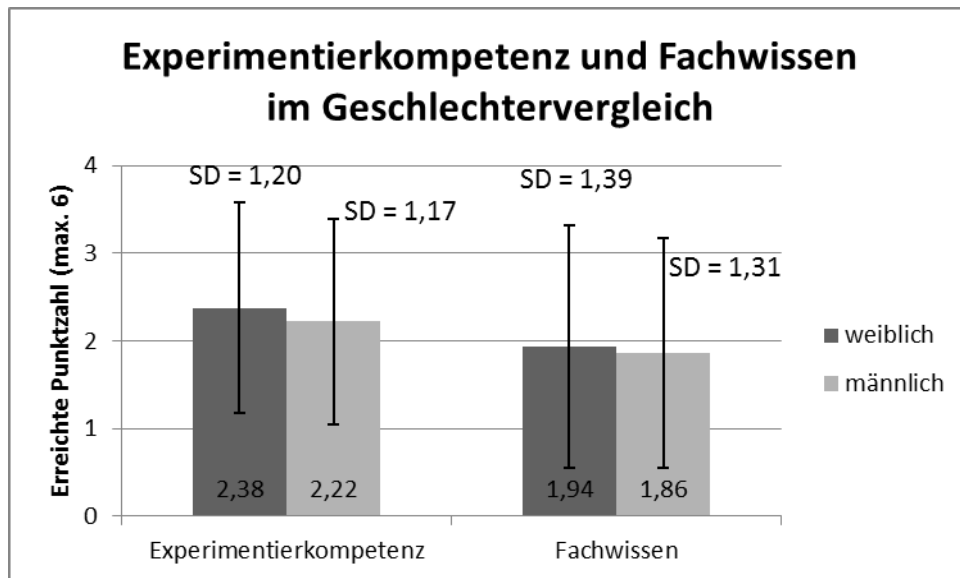


Abbildung 22: Experimentierkompetenz und Fachwissen im Geschlechtervergleich (MW \pm 1 SD)

Zwischen den Geschlechtern werden leichte, allerdings nicht signifikante Unterschiede deutlich. Hinsichtlich des Kompetenzgrades erreichen die weiblichen Teilnehmerinnen (N = 328) im Mittel 2,38 Punkte und damit einen nicht signifikant höheren Wert als die männlichen Probanden (N = 329) mit 2,22 Punkten ($d = 0,16$; $p = 0,07$). Im Fachwissenstest erreichen die Schülerinnen 1,94 Punkte im Mittel und die Schüler 1,86 Punkte. Der T-Test berichtet keine signifikanten Unterschiede, die Effektstärke ist sehr gering ($d = 0,06$; $p = 0,48$).

6.1.7 Zusammenhang zwischen kognitiven Leistungsniveau, Experimentierkompetenz und Fachwissen

Im Folgenden wird der Zusammenhang der kognitiven Voraussetzungen (exemplarisch an den Zeugnisnoten Erdkunde und Biologie) und der Experimentierkompetenz und dem Fachwissen der Jahrgänge 5 bis 9 (5 N = 89; 6 N = 234; 7 N = 148; 8 N = 54; 9 N = 73) betrachtet. Die Zeugnisnote Biologie wurde gewählt, da es sich um das einzige naturwissenschaftliche Fach handelt, das in den Jahrgängen 5 und 6 in Hessen unterrichtet wird. Demnach können Rückschlüsse darüber gewonnen werden, ob Zusammenhänge zwischen der Biologienote und der Experimentierkompetenz vorliegen. Es wird die Korrelation nach Spearman verwendet.

Tabelle 25: Korrelationen nach Spearman zwischen Methoden- und Fachkompetenz sowie Zeugnisnoten

| | Zeugnisnote Erdkunde | Zeugnisnote Biologie | Experimentier- kompetenz |
|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| Experimentier- kompetenz | -0,3** | -0,2** | - |
| Fachwissen | -0,1** | -0,1** | 0,4** |

** Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig).

Die Korrelation zwischen dem Kompetenztest Experimentieren und den Schulnoten ist nur schwach ($\rho^4 = -0,3$ Erdkunde; $\rho = -0,2$ Biologie). Auch der Zusammenhang zwischen dem Fachtest und den Zeugnisnoten kann mit $\rho = -0,1$ (Erdkunde und Biologie) als sehr schwach bezeichnet werden. Zwischen den Kompetenztests der Methode des Experimentierens sowie des Fachwissens wird ein Zusammenhang von $\rho = 0,4$ deutlich. Es liegt demnach ein mittlerer Zusammenhang zwischen der Methodenkompetenz und dem Fachwissen vor.

6.1.8 Zusammenhang zwischen Selbsteinschätzung und Vorwissenstest

Im paper-and-pencil-test haben die Schülerinnen und Schüler ihre Kompetenz in der Methode des Experimentierens eingeschätzt und anschließend drei Testfragen zur Methode beantwortet. Um den Zusammenhang zwischen der Selbsteinschätzung und dem Vorwissen erheben zu können, erfolgt im ersten Schritt eine Beschreibung der Ergebnisse durch eine Kreuztabelle. Im zweiten Schritt werden Zusammenhänge anhand der Korrelation Kendall Tau b analysiert.

Tabelle 26: Kreuztabelle zwischen Selbsteinschätzung und Vorwissenstest

| Zusammenhang zwischen Selbsteinschätzung und Vorwissen (N=556) | | | | | | | |
|--|---------------|---|--------------------|-------|-------|-------|--------|
| | | | Vorwissen (Punkte) | | | | Gesamt |
| | | | 0 | 1 | 2 | 3 | |
| Selbsteinschätzung | 1 sehr gut | N | 13 | 12 | 14 | 9 | 48 |
| | | % | 27,1% | 25,0% | 29,2% | 18,8% | 100,0% |
| | 2 gut | N | 69 | 96 | 74 | 49 | 288 |
| | | % | 24,0% | 33,3% | 25,7% | 17,0% | 100,0% |
| | 3 mittelmäßig | N | 59 | 68 | 64 | 24 | 215 |
| | | % | 27,4% | 31,6% | 29,8% | 11,2% | 100,0% |
| | 4 schlecht | N | 2 | 2 | 1 | 0 | 5 |
| | | % | 40,0% | 40,0% | 20,0% | 0,0% | 100,0% |
| Gesamt | | N | 143 | 178 | 153 | 82 | 556 |
| | | % | 25,7% | 32,0% | 27,5% | 14,7% | 100,0% |

Insgesamt hat der größte Anteil der Probanden eine gute Selbsteinschätzung (N = 288) hinsichtlich der Methode des Experimentierens angegeben. Gleichzeitig erreichen prozentual die meisten Schülerinnen und Schüler einen geringen Vorwissensstand mit einem von drei Punkten (32 %) im Vorwissenstest. Die statistische Überprüfung der Korrelation bestätigt dies. Der Korrelationskoeffizient beträgt -0,05, ($p = 0,16$) es liegt kein Zusammenhang zwischen Selbsteinschätzung und Vorwissen vor.

6.2 Kontrolle der Störvariablen (Interventionsstudie)

Bevor die Ergebnisse der Interventionsstudie vorgestellt werden können, werden die Störfaktoren betrachtet, die Einfluss auf die Ergebnisse nehmen können. Nach BORTZ und DÖRING (2006) sind Störvariablen alle auf die abhängige Variable einflussnehmende Größen, die in der Untersuchung nicht kontrolliert werden können. HELMKE (2006) benennt drei übergeordnete Faktoren, die die Kompetenzförderung und Evaluierung beeinflussen können: Individuelle Eingangsvoraussetzung, Lehrperson und Unterrichtsqualität. Weitere Einflussfaktoren wirken aus dem Umfeld der Lernenden. Um Rückschlüsse über die Kompetenzentwicklung ziehen zu können, müssen diese Störfaktoren weitestgehend kontrolliert werden oder, wenn dies nicht möglich ist, eine breite Varianz belegen. Die Störfaktoren werden betrachtet, um die Vergleichbarkeit der Gruppen zu gewährleisten. Anzustreben sind möglichst homogene Gruppen (Versuchs- und Vergleichsgruppen), um den Einfluss von Störvariablen auf die abhängigen Variablen gering halten zu können (ROST 2007; S. 71).

BORTZ und DÖRING (2006) benennen die Kontrolle der wichtigsten Einflussfaktoren auf die abhängige Variable als entscheidend. Die Ergebnisse der Normierungsstudie zeigen, dass

insbesondere das Alter (Jahrgangsstufe) und die Schulart Einfluss auf die abhängige Variable nehmen können. Um eine größtmögliche Homogenität der Gesamtstichprobe zu ermöglichen, wird das Alter der an der Interventionsstudie teilnehmenden Probanden mit dem Jahrgang 6 konstant gehalten. Die Wahl der Jahrgangsstufe wird damit begründet, dass die Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler in der 6. Klassenstufe homogen sind und es weiterhin keine signifikanten Unterschiede im Schulartenvergleich der IGS und Realschule gibt. Außerdem wird Erdkunde in Hessen laut den hessischen Lehrplänen in den Jahrgängen 7 und 8 der Realschulen nicht unterrichtet. Die Schulart wird auf IGS und Realschule eingegrenzt, da keine signifikanten Unterschiede im Kompetenzgrad zwischen den Schülerinnen und Schülern dieser Schularten festgestellt wird (s. Kap. 6.1.5).

Im Weiteren werden die Eingangsvoraussetzungen anhand der an der Hauptstudie (Intervention) teilnehmenden Schülerinnen und Schüler (Jahrgang 6; IGS und Realschule) dargestellt und analysiert, um vergleichbare Ausgangssituationen gewährleisten zu können. Leichte Abweichungen in den Fallzahlen können aufgrund fehlender Angaben möglich sein.

Tabelle 27: Eingangsvoraussetzungen der Interventionsstudie

| Klasse | Treatment | Schule | Schulart | Lehrkraft | Anzahl N | Ergebnisse im Pretest Experimentierkompetenz (max. 24 Punkten) |
|---------------|------------------|--------|----------|-----------|------------|--|
| A | Versuchsgruppe | 1 | IGS | 1 | 26 | 9,77 |
| B | Versuchsgruppe | 1 | IGS | 2 | 27 | 9,52 |
| C | Versuchsgruppe | 1 | IGS | 1 | 18 | 9,06 |
| D | Versuchsgruppe | 1 | IGS | 2 | 26 | 11,19 |
| E | Versuchsgruppe | 2 | FS | 3 | 15 | 7,89 |
| F | Vergleichsgruppe | 1 | IGS | 4 | 22 | 7,89 |
| G | Vergleichsgruppe | 3 | R | 5 | 20 | 8,85 |
| H | Vergleichsgruppe | 3 | R | 6 | 18 | 10,83 |
| I | Vergleichsgruppe | 3 | R | 7 | 19 | 9,47 |
| Gesamt | | | | | 191 | 9,06 |

Die Geschlechterverteilung der Gesamtstichprobe in der Interventionsstudie entspricht einer Gleichverteilung mit 49,7% weiblichen Teilnehmerinnen und 50,3% männlichen Teilnehmern.

Bei der Auswahl der Variablen Lehrkräfte und Schulen wurde eine breite Differenziertheit gewählt, um die Einflussfaktoren der Lehrenden sowie schulspezifischer Faktoren möglichst gering zu halten. Eine Erhöhung der Repräsentativität ist anzustreben. Die Verteilung der

Probanden (Lehrkräfte, Gruppengröße) auf die Treatmentgruppen wurde bereits dargestellt (s. Tab. 27). Es ergeben sich nur geringfügige Unterschiede, beispielsweise in dem Faktor Gruppengröße, so dass von den äußeren Bedingungen keine Störeffekte zu erwarten sind.

Möglichst homogene Gruppen im Ausgangsniveau sind bei der Verteilung der Klassen auf die Treatmentgruppen (Versuchs- und Vergleichsgruppen) anzustreben, um vergleichbare Rückschlüsse nach der Intervention ziehen zu können. Dafür erfolgt ein Vergleich des Kompetenzniveaus zwischen den Treatmentgruppen im Pretest (s. Abb. 23).

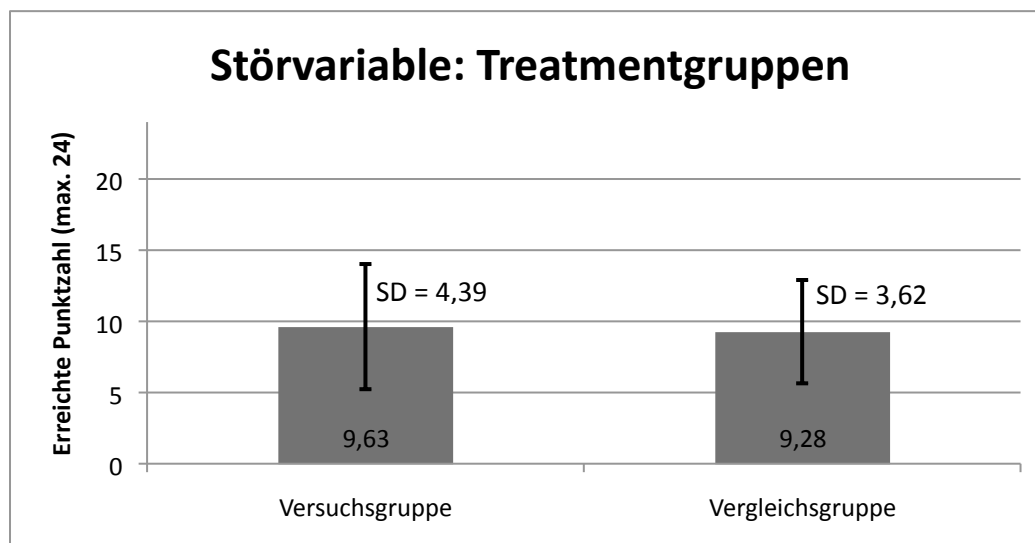


Abbildung 23: Kontrolle der Störvariable Treatmentgruppen (MW \pm 1 SD)

Die Versuchsgruppe (N = 111) erreicht in der Experimentierkompetenz im Pretest einen Mittelwert von 9,63 (SD = 4,39) und die Vergleichsgruppe (N = 69) einen Mittelwert von 9,28 (SD = 3,62). Die unterschiedlichen Treatmentgruppen (Versuchs- und Vergleichsgruppe) weisen hinsichtlich des Kompetenzniveaus keine signifikanten Unterschiede ($d = 0,09$; T-Test $p = 0,58$.) auf. Die Verteilung der Schülerinnen und Schüler auf die Gruppen ist homogen, vergleichende Rückschlüsse aus den Verfahren Posttest und Follow-Up können gezogen werden.

Ein entscheidender Einflussfaktor sind die Schularten, wie in der Normierungsstudie deutlich wurde. Um eine möglichst hohe Homogenität gewährleisten zu können, werden die Schularten Realschule und IGS für die Studie gewählt, da diese keine Unterschiede im Kompetenzniveau in der Normierungsstudie aufzeigen. Auf die Auswahl von Hauptschulklassen wird verzichtet, da diese ein deutlich niedrigeres Kompetenzniveau aufweisen. Betrachtet man die Ergebnisse des Kompetenztests im Pretestverfahren hinsichtlich des Schulartenvergleiches (s. Abb. 24), so werden die Ergebnisse der Normierungsstudie bestätigt.

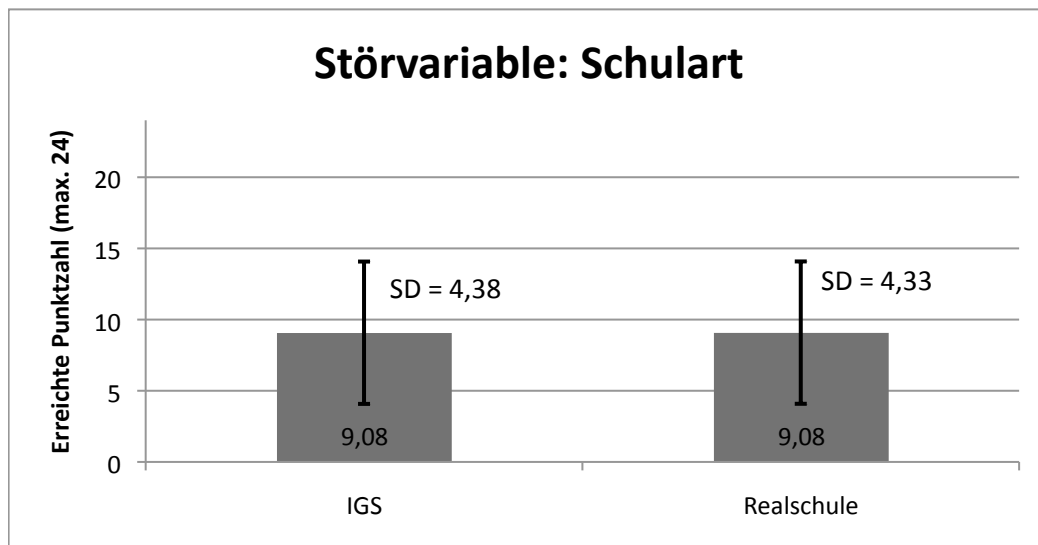


Abbildung 24: Kontrolle der Störvariable Schulart (MW \pm 1 SD)

Das Leistungsniveau der Schülerinnen und Schüler der Schulformen IGS und Realschule im Jahrgang 6 entsprechen: IGS (N=130; MW=9,08; SD=4,38) und Realschule (N=59; MW=9,08; SD=4,33). Die statistische Überprüfung der Gruppen zeigt keine Signifikanz ($d = 0$; T-Test $p = 0,99$.), so dass eine Homogenität der Probanden gewährleistet ist.

An der Interventionsstudie sind sieben Lehrpersonen beteiligt, die aufgrund unterschiedlicher Voraussetzungen (Lehrereffekt) Einfluss auf das Ergebnis nehmen können. Daher werden die Lehrerinnen und Lehrer hinsichtlich ihrer Lerngruppen und deren Ergebnisse im Pretest verglichen (s. Abb. 25).

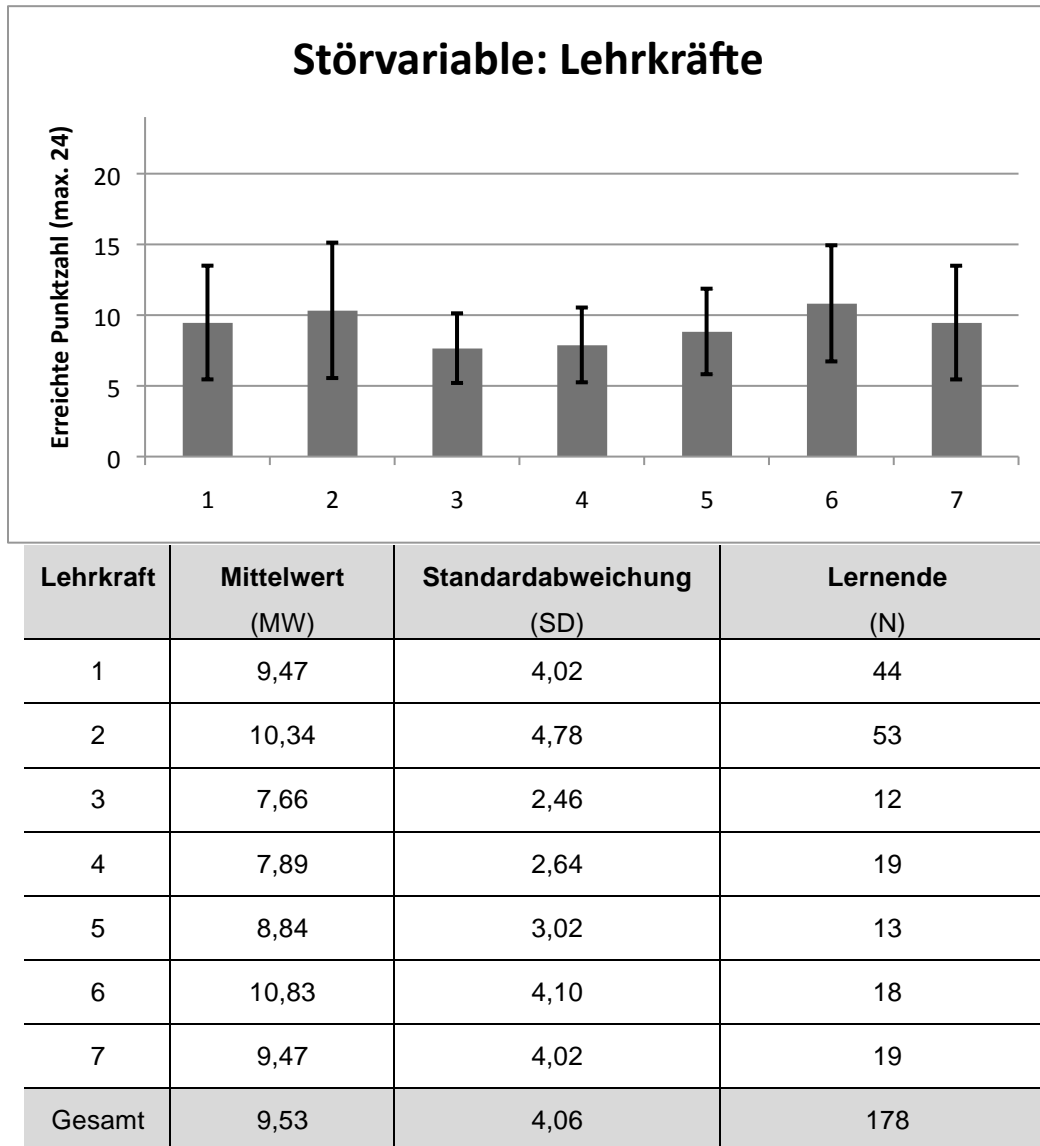


Abbildung 25: Kontrolle der Störvariable Lehrkraft

Es liegen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Lehrkräften vor (ANOVA $p = 0,13$).

Ausgehend von den verschiedenen Störvariablen Lehrkräfte, Schulart (IGS und Realschule) sowie der Verteilung der Lernenden auf die unterschiedlichen Treatmentgruppen, sind vergleichbare Voraussetzungen geben.

Die Kontrolle des Aspekts Unterrichtsqualität wurde bereits in Kapitel 4.3.2 vorgestellt, so dass durch die vorausgegangene Instruktion in Kombination mit vorgefertigten Materialmappen von einem einheitlichen Vorgehen ausgegangen wird.

Das Umfeld der Lernenden (sozioökonomische Bedingungen, Klassenklima usw.) kann in der vorliegenden Studie aufgrund fester Klassengefügen nicht kontrolliert werden. Hinsicht-

lich der an der Studie beteiligten Schularten, ist von einer breiten Varianz auszugehen. Weiterhin liegen alle an der Studie teilnehmenden Schulen im ländlichen Raum, so dass bezüglich dieses Faktors von weitgehend gleichen Lernumgebungen ausgegangen werden kann.

6.3 Interventionsstudie

In der ersten Forschungsfrage wird die Lerneffektivität des problemlösenden Ansatzes im Vergleich zum fragend-gelenkten Ansatz hinterfragt. Positive Effekte im Lernzuwachs der Versuchsgruppe werden zum einen in der gesamten Experimentierkompetenz erwartet und zum anderen in den einzelnen Teilkompetenzen der Methode. Demnach wird im Verlauf der Ergebnisdarstellung der Lerneffekt der Intervention differenziert nach den einzelnen Teilkompetenzen a) Fragestellung formulieren, b) Hypothesen generieren, c) Planung eines Experimentes, d) Daten auswerten in der Kurz- und Langzeitwirkung untersucht. Ziel ist eine spezifische Analyse der Teilkompetenz des Experimentierens zur detaillierten Evaluierung der Forschungsfrage 1. Anschließend erfolgt die Analyse der Forschungsfragen 2, die die Lernausgangslage und den damit vermuteten erhöhten Lernzuwachs von leistungsstärkeren Schülerinnen und Schülern hinsichtlich des problemlösenden Ansatzes (Versuchsgruppe) im Fokus hat. In der Forschungsfrage 3 wird von positiven Effekten der Versuchsgruppe bezüglich des Fachwissens ausgegangen, die in weiteren Analysen der Interventionsstudie untersucht werden.

Die Auswahl der statistischen Testverfahren erfolgt entsprechend der Voraussetzungen der Fachliteratur. Zunächst werden die Ergebnisse der Gruppen deskriptiv (MW, SD) dargestellt und auf Signifikanzen anhand des T-Tests geprüft. Die detaillierte Analyse der Messwiederholung erfolgt anschließend jeweils in zwei Schritten. Im ersten Schritt werden (a) die Gruppenergebnisse der drei Messzeitpunkte gegenübergestellt und auf Signifikanz getestet (T-Test). Es erfolgen demnach drei Signifikanztests zwischen den Gruppen zu den Messzeitpunkten 1 (T1 Pretest), 2 (T2 Posttest) sowie 3 (T3 Follow-Up). Im zweiten Schritt (b) wird die Signifikanz der Gruppenentwicklung im Vergleich vom Messzeitpunkt 1 (T1 Pretest) zum Messzeitpunkt 2 (T2 Posttest) sowie vom Messzeitpunkt 1 zum Messzeitpunkt 3 (T3 Follow-Up) anhand der Varianzanalyse (allgemeines lineares Modell) mit Messwiederholung analysiert, um kurz- und langfristige Effekte der Kompetenzentwicklung im Gruppenvergleich berichten zu können. Da die Analyse des Kompetenzgrades im zeitlichen Verlauf (T1, T2 und T3) mit listenweisem Fallausschluss erfolgt, werden nur die Schülerergebnisse gewertet, die bei allen drei Messzeitpunkten den Fragebogen ausfüllen konnten. Aus diesem Grund können im weiteren Verlauf der Ergebnisdarstellungen leichte Abweichungen der Fallzahlen auftreten, wenn die Analyse ohne listenweisen Fallausschluss erfolgt (z. B. Kap. 6.3.6).

6.3.1 Pre-/Post-/Follow-Up-Vergleich der Experimentierkompetenzen (Versuchs- und Vergleichsgruppe)

Um die Lernwirksamkeit der Intervention überprüfen zu können, wird der Effekt der Intervention auf den Kompetenzstand der Gruppen (Versuchs- und Vergleichsgruppe) aufgezeigt. Der Kompetenzzuwachs der Versuchs- und Vergleichsgruppe in der Methode des Experimentierens ist im Folgenden in einer Übersichtstabelle dargestellt (s. Tab. 28). Es konnten maximal 24 Punkte im Kompetenztest erreicht werden.

Tabelle 28: Ergebnisse des T-Tests im Pre-/Post-/Follow-Up-Vergleich (Experimentierkompetenz)

| | | Mittelwert | N | Standardabweichung (SD) | p (2 seitig) |
|------------------|----|------------|----|----------------------------|-----------------|
| Versuchsgruppe | T1 | 10,24 | 68 | 4,77 | 0,00 |
| | T2 | 19,29 | 68 | 3,95 | |
| | T1 | 10,24 | 68 | 4,77 | 0,00 |
| | T3 | 13,34 | 68 | 4,93 | |
| | T2 | 19,29 | 68 | 3,95 | 0,00 |
| | T3 | 13,34 | 68 | 4,93 | |
| Vergleichsgruppe | T1 | 8,63 | 49 | 4,48 | 0,16 |
| | T2 | 10,33 | 49 | 4,23 | |
| | T1 | 8,63 | 49 | 4,48 | 0,16 |
| | T3 | 10,16 | 49 | 3,36 | |
| | T2 | 10,33 | 49 | 4,23 | 0,76 |
| | T3 | 10,16 | 49 | 3,36 | |

Im Gruppenvergleich (Versuchs- und Vergleichsgruppe) erfolgt (a) eine Varianzanalyse mit Messwiederholung entsprechend der drei Messzeitpunkte (T1 Pretest, T2 Posttest und T3 Follow-Up) mit statistischer Überprüfung des jeweiligen Kompetenzniveaus (einfaktorielle ANOVA), so dass anschließend (b) die Kompetenzentwicklung zwischen den einzelnen Gruppen anhand der Varianzanalyse verglichen werden kann.

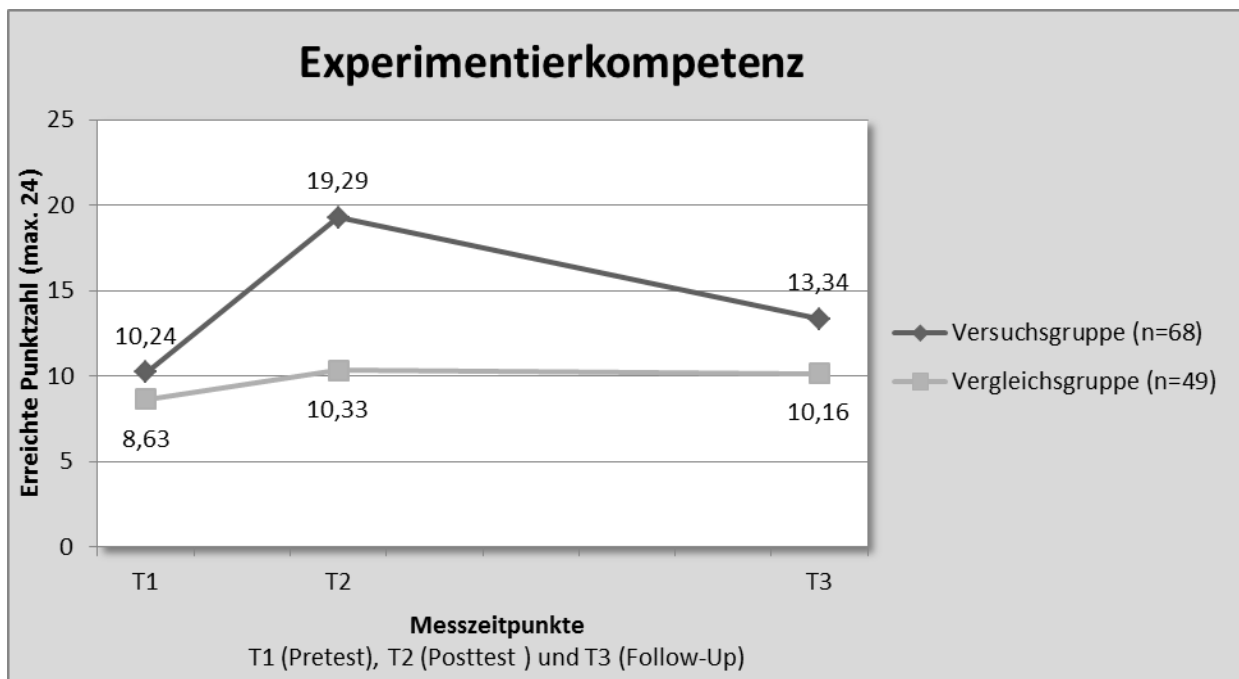


Abbildung 26: Messwiederholung der Experimentierkompetenz im Gruppenvergleich (Pre-/Post-/Follow-Up-Vergleich)

(a) Der Leistungsstand der beiden Gruppen im Pretest (T1) weist keine signifikanten Unterschiede (T1 $d = 0,35$; $p = 0,068$) auf: Versuchsgruppe (MW = 10,24; SD = 4,77), Vergleichsgruppe (MW = 8,63; SD = 4,48). Im Messzeitpunkt 2 (Posttest T2) treten signifikante Unterschiede zwischen der Versuchsgruppe (MW = 19,29; SD 3,95) und Vergleichsgruppe (MW = 10,33; SD = 4,23) auf (T2 $d = 2,19$; $p < 0,001$). Die Versuchsgruppe zeigt demnach ein wesentlich höheres Kompetenzniveau im Posttest (T2) mit starken Effekten. Dieses fällt zum Messzeitpunkt 3 (Versuchsgruppe MW = 13,34; SD = 4,93) ab, unterscheidet sich jedoch noch immer signifikant mit mittleren Effekten (T3 $d = 0,65$; $p < 0,001$) zur Vergleichsgruppe (MW = 10,16; SD = 3,36).

(b) Die Kompetenzentwicklung der Gruppen (Versuchs- und Vergleichsgruppe) weist signifikante Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten T1 (Pretest) und T2 (Posttest) ($p < 0,001$) auf. Ein positiver Effekt der Kompetenzentwicklung der Versuchsgruppe ist zu verzeichnen. Zwischen T1 (Pretest) und T3 (Follow-Up) werden ebenfalls signifikante Unterschiede deutlich ($p = 0,01$). Ein positiver Effekt der Versuchsgruppe gegenüber der Vergleichsgruppe in der Kompetenzentwicklung ist feststellbar.

Abschließend werden die Ergebnisse der Messwiederholung der einzelnen Klassen im Pre-/Post- und Follow-Up-Vergleich zur Übersicht dargestellt. Die Klassen 1 bis 5 entsprechen der Versuchsgruppen die Klassen 6 bis 9 der Vergleichsgruppe.

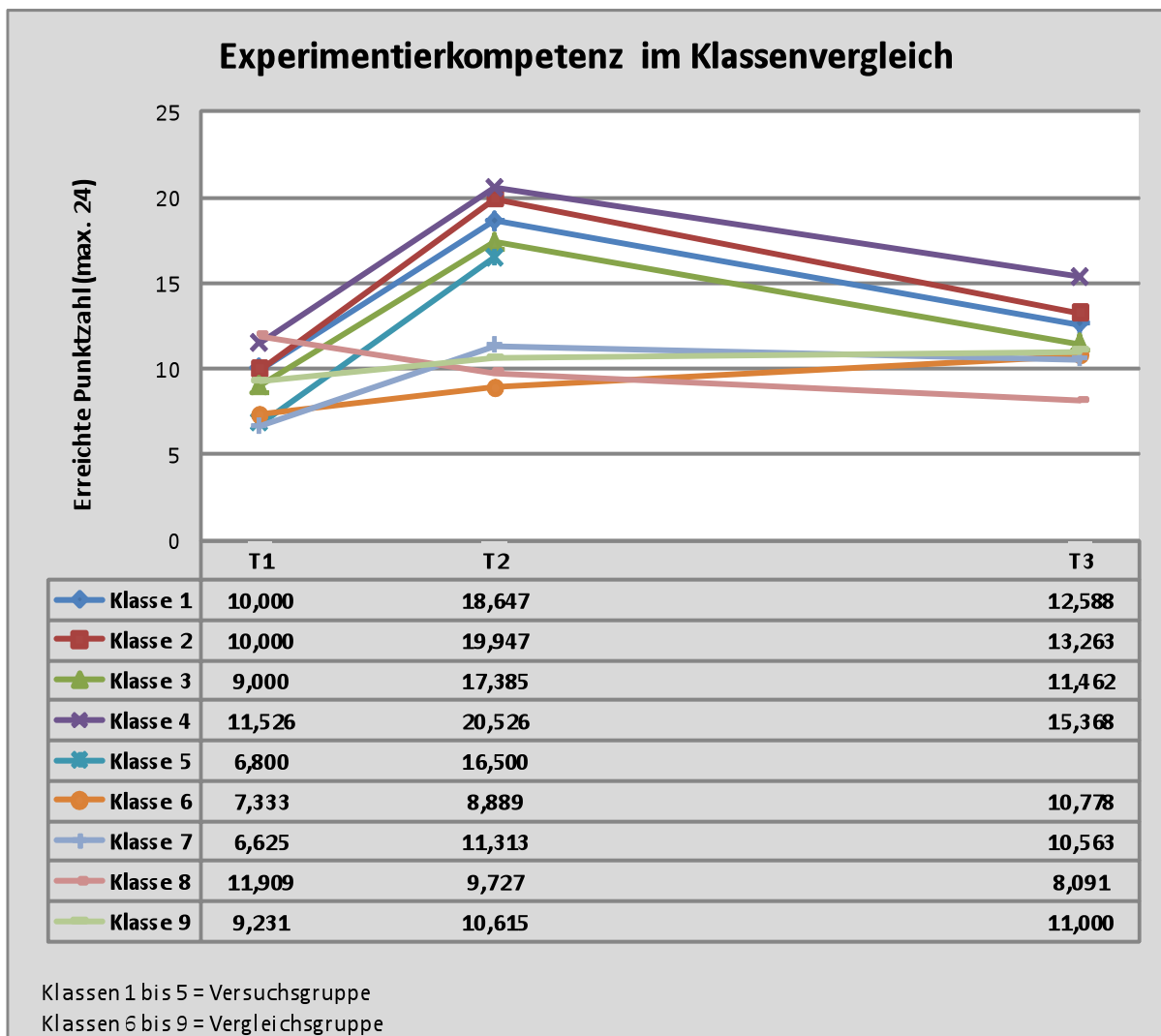


Abbildung 27: Messwiederholung der Experimentierkompetenz im Klassenvergleich (Pre-/Post-/Follow-Up-Vergleich)

Die Darstellung dient der allgemeinen Übersicht und wird nicht auf statistische Unterschiede getestet. Die Klassen 1 bis 5 entsprechen der Versuchsgruppe. Sie zeigen einen ähnlichen Kompetenzverlauf der beteiligten Klassen innerhalb der drei Messzeitpunkte. Die Klasse 5 konnte an der dritten Erhebung nicht teilnehmen, da sie nach den Sommerferien 2012 aufgelöst wurde. In dieser Darstellung wurden die entsprechenden Ergebnisse der Klasse 5 zu den Messzeitpunkten T1 und T2 aufgenommen, um zu verdeutlichen, dass die Entwicklung der Schülerinnen und Schülern nicht von der Entwicklung der verbleibenden Versuchsgruppen (Klassen 1 bis 4) abweicht. Anzumerken ist, dass die Klasse 5 in den Berechnungen der Experimentierkompetenz und den noch folgenden Teilkompetenzen sowie dem Fachwissenstest aufgrund des listenweisen Fallausschlusses keine Berücksichtigung findet.

Innerhalb der Vergleichsgruppen fällt insbesondere die Klasse 8 auf, deren Schülerinnen und Schüler im Test der Experimentierkompetenz von T1 zu T3 eine abnehmende Punktzahl erreichen.

6.3.2 Pre-/Post-/Follow-Up-Vergleich der Teilkompetenzen des Experimentierens (Versuchs- und Vergleichsgruppe)

In der weiteren Analyse werden die Kompetenzentwicklungen der Versuchs- und Vergleichsgruppe hinsichtlich der vier Teilkompetenz des Experimentierens a) Fragestellung formulieren, b) Hypothesen generieren, c) Planung eines Experimentes, d) Daten auswerten detailliert untersucht. Im Kompetenztest konnten jeweils maximal 6 Punkte erreicht werden. Zur Analyse der Kompetenzentwicklung im Gruppenvergleich wird die Varianzanalyse mit Messwiederholung verwendet.

6.3.2.1 Teilkompetenz Fragestellung formulieren

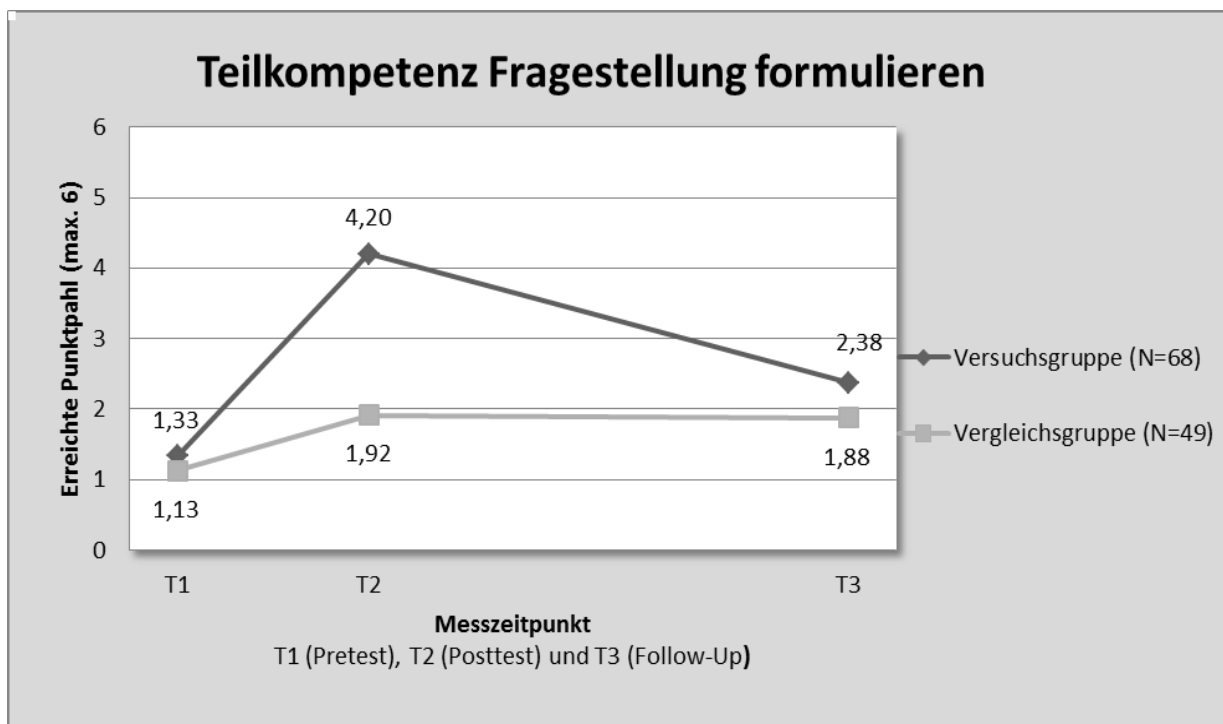


Abbildung 28: Messwiederholung der Teilkompetenz Fragestellung formulieren im Gruppenvergleich (Pre-/Post-/Follow-Up-Vergleich)

(a) Die Versuchsgruppe erreicht in der Teilkompetenz Fragestellung formulieren im Pretest (T1) einen Kompetenzgrad von $MW = 1,33$ ($SD = 1,6$). Das Kompetenzniveau der Vergleichsgruppe entspricht einem Ausgangswert von $MW = 1,13$ ($SD = 1,5$), so dass keine signifikanten Unterschiede zwischen dem Leistungsniveau der Gruppen vorliegen ($T1 d = 0,13$; $p = 0,84$). Im Posttest (T2) erreicht die Versuchsgruppe ein höheres Kompetenzniveau ($MW = 4,20$; $SD = 1,86$) im Vergleich zur Vergleichsgruppe ($MW = 1,92$; $SD = 1,48$) mit einer deutli-

chen Signifikanz und starken Effekten zwischen dem Kompetenzgrad der Gruppen (T2 $d = 1,36$; $p < 0,001$). Zum dritten Messzeitpunkt (T3) fällt das Kompetenzniveau der Versuchsgruppe (MW = 2,38; SD = 1,86) um 1,82 Punkte sowie der Vergleichsgruppe (MW = 1,88; SD = 1,72) um 0,04 Punkte ab und unterscheidet sich nicht mehr signifikant (T3 $d = 0,28$; $p = 0,14$).

(b) Die Varianzanalyse mit Messwiederholung weist hinsichtlich der Entwicklung vom Messzeitpunkt T1 zu T2 zwischen den Gruppen auf signifikante Unterschiede ($p < 0,001$) hin. Demgegenüber ist die Entwicklung vom Messzeitpunkt T1 zu T3 zwischen den Gruppen nicht signifikant ($p = 0,39$).

Zusammenfassend erfolgt demnach in der Teilkompetenz Fragestellung formulieren die Kompetenzentwicklung in den Gruppen bei vergleichbarer Ausgangssituation im Pretest zunächst signifikant unterschiedlich. So erlangen die Schülerinnen und Schüler der Versuchsgruppe einen kurzfristigen positiven Effekt in der Kompetenzzunahme vom ersten (Pretest) zum zweiten (Posttest) Messzeitpunkt mit einem Kompetenzzuwachs um 2,87 Punkte im Mittel, der signifikant unterschiedlich zur Vergleichsgruppe ist. Die Probanden der Vergleichsgruppe verzeichnen einen Kompetenzzuwachs von nur 0,79 Punkten im Mittel zum Messzeitpunkt 3. Zum Messzeitpunkt 3 fällt der Kompetenzgrad bei der Versuchsgruppe ab und unterscheidet sich nicht mehr signifikant zum Messzeitpunkt 1 innerhalb der Gruppen. Signifikante Unterschiede vom ersten zum dritten Messzeitpunkt liegen nicht vor, so dass kein signifikanter positiver Langzeiteffekt nachgewiesen werden kann.

6.3.2.2 Teilkompetenz Hypothesen generieren

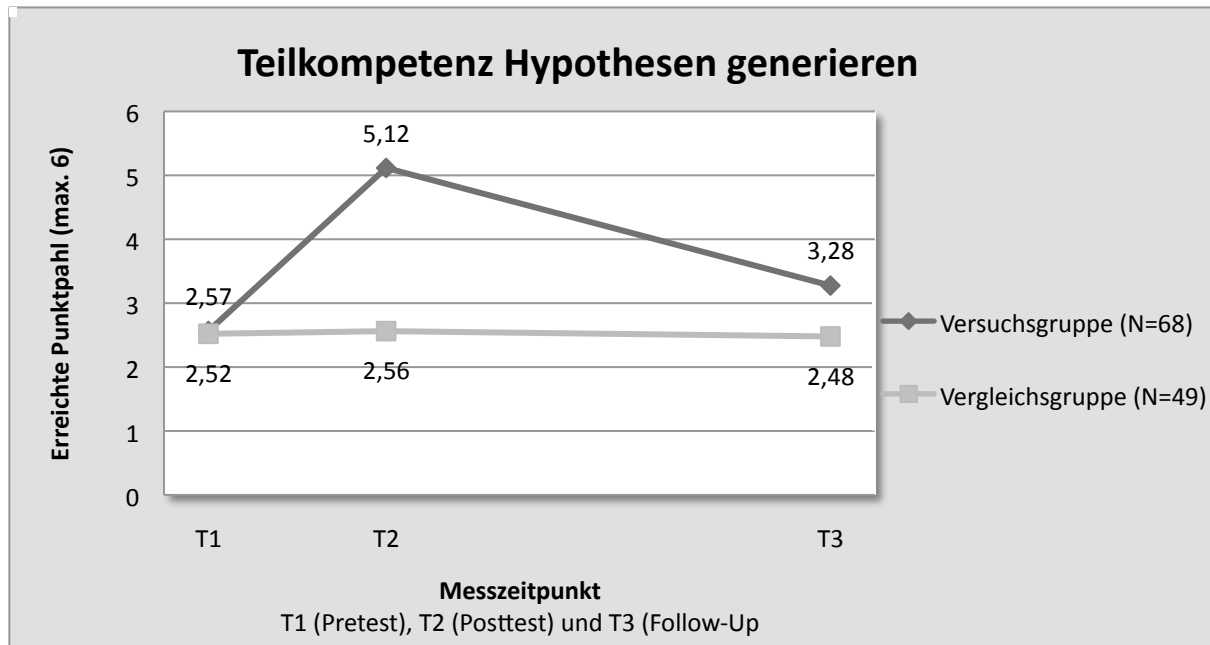


Abbildung 29: Messwiederholung der Teilkompetenz Hypothesen formulieren im Gruppenvergleich (Pre-/Post-/Follow-Up-Vergleich)

(a) Hinsichtlich der Teilkompetenz Hypothesen generieren wird in der Versuchsgruppe ein Kompetenzstand von $MW = 2,57$ ($SD = 1,14$) ermittelt. Die Vergleichsgruppe erzielt einen Kompetenzgrad von $MW = 2,52$ ($SD = 1,86$). Zwischen den Gruppen liegen keine signifikanten Unterschiede bezüglich des Kompetenzstandes im Pretest vor ($T1 d = 0,03$; $p = 0,84$). Zum zweiten Messzeitpunkt verzeichnen die Schülerinnen und Schüler der Versuchsgruppe eine Zunahme des Kompetenzniveaus um 2,55 Punkte ($MW = 5,12$; $SD = 1,23$) und die der Vergleichsgruppe um 0,04 ($MW = 2,56$; $SD = 1,15$). Die Ergebnisse unterscheiden sich signifikant ($T2 d = 2,56$; $p < 0,001$) mit starken Effekten. Zum Messzeitpunkt 3 ($T3$) fällt der Kompetenzgrad der Versuchsgruppe auf 3,28 Punkte ($SD = 1,22$) und nimmt damit im Vergleich zum Messzeitpunkt 2 ($T2$) um 1,84 Punkte ab. Die Probanden der Versuchsgruppe erreichen zum Messzeitpunkt 3 einen MW von 2,48 ($SD = 0,95$). Insgesamt kommt es in der Versuchsgruppe zu einer Kompetenzzunahme im Mittel um 0,71 vom Messzeitpunkt 1 ($T1$) zum Messzeitpunkt 3 ($T3$) und in der Vergleichsgruppe um eine Abnahme im Mittel um 0,04 Punkte mit einem signifikanten Unterschied ($T3 d = 0,73$; $p < 0,001$).

(b) Die Analyse der Messwiederholung zeigt für die Entwicklung vom Messzeitpunkt 1 ($T1$) zum Messzeitpunkt 2 ($T2$) einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen ($p < 0,001$), ebenso vom Messzeitpunkt 1 ($T1$) zum Messzeitpunkt 3 ($T3$) mit einem signifikanten Kontrast ($p = 0,006$).

In der Teilkompetenz Hypothesen generieren wird ein positiver Effekt der Versuchsgruppe deutlich. Demnach erreichen die Probanden vom ersten zum zweiten Messzeitpunkt einen starken Kompetenzzuwachs von 2,55 Punkten im Mittel. Es zeigen sich vom ersten zum zweiten Messzeitpunkt positive Effekte durch signifikante Unterschiede in der Entwicklung der beiden Gruppen. Demgegenüber verzeichnen die Probanden der Vergleichsgruppe zum zweiten Messzeitpunkt keinen Kompetenzzuwachs, so dass die Vergleichsgruppe in der Teilkompetenz Hypothesen genieren einen positiven Effekt gegenüber der Vergleichsgruppe verzeichnen kann. Der positive Effekt wird auch vom Messzeitpunkt 1 zum Messzeitpunkt 3 und damit in der Langzeitwirkung deutlich.

6.3.2.3 Teilkompetenz Planung eines Experiments

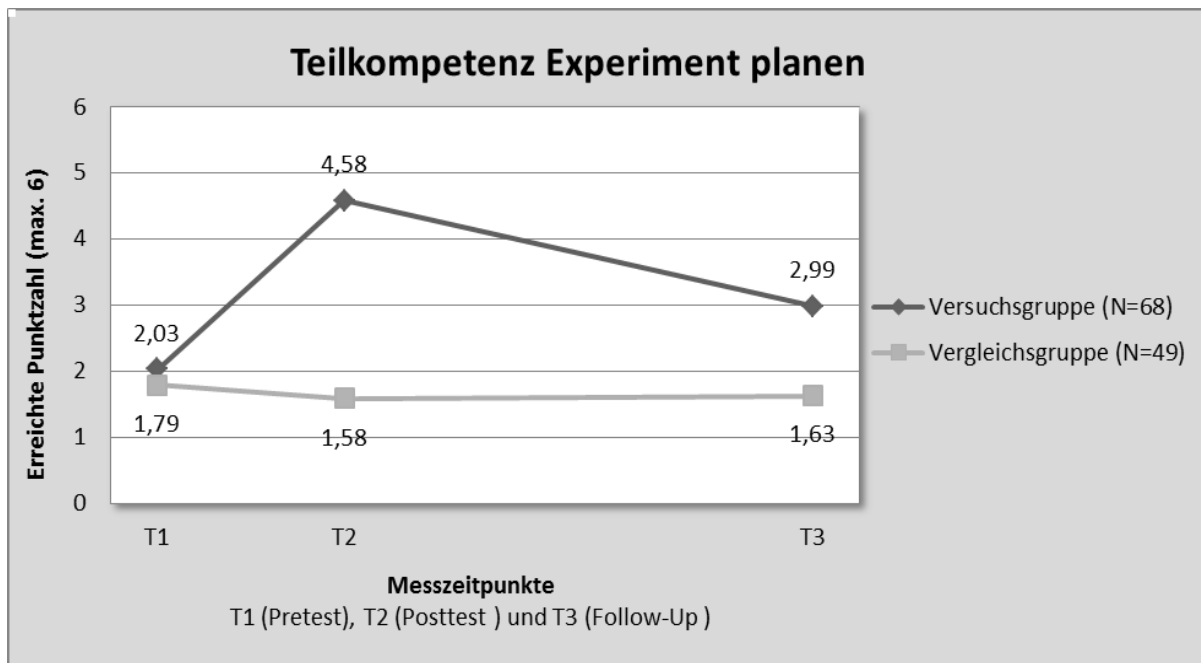


Abbildung 30: Messwiederholung der Teilkompetenz Experiment planen im Gruppenvergleich (Pre-/Post-/Follow-Up-Vergleich)

(a) Die Analyse der Teilkompetenz Planung eines Experiments zeigt im Pretest (T1) ein Mittel der Kompetenzgrade von 2,03 Punkten (SD = 2,24) in der Versuchsgruppe und von 1,79 (SD = 1,99) in der Vergleichsgruppe. Diese unterscheiden sich nicht signifikant (T1 $d = 0,11$; $p = 0,56$). Zum Messzeitpunkt 2 (T2) steigt das Kompetenzniveau der Versuchsgruppe um 2,55 Punkte auf 4,58 Punkte (SD = 1,42) im Mittel. Das Niveau der Vergleichsgruppe sinkt auf 1,58 Punkte (SD = 1,93) und verliert demnach 0,21 Punkte im Mittel (T2 $d = 1,77$; $p < 0,001$). Zum Messzeitpunkt 3 (T3) fällt das Kompetenzniveau der Versuchsgruppe um 1,59 Punkte auf 2,99 (SD = 2,08) im Mittel. Die Probanden der Vergleichsgruppe erreichen ein Mittel von 1,63 Punkten (SD = 1,78). Der Kompetenzgrad unterscheidet sich zwischen den Gruppen im Messzeitpunkt 3 (T3) signifikant (T3 $d = 0,70$; $p < 0,001$).

(b) Die Varianzanalyse ergibt eine deutliche Signifikanz zwischen den Gruppen und den Messzeitpunkten T1 und T2 ($p < 0,001$). Die Analyse der Entwicklung der Gruppen vom Messzeitpunkt 1 (T1) zum Messzeitpunkt 3 (T3) anhand der Kontrast zeigt einen signifikanten Unterschied ($p = 0,007$) zwischen beiden.

Die Schülerinnen und Schüler beider Treatmentgruppen zeigten im Pretest der Teilkompetenz Experiment planen vergleichbare Ausgangssituationen. Die Entwicklung der Gruppen zum Messzeitpunkt 2 in der Teilkompetenz Experiment planen ist unterschiedlich, mit positiven Effekten für die Versuchsgruppe auch in der Langzeitwirkung.

6.3.2.4 Teilkompetenz Daten auswerten

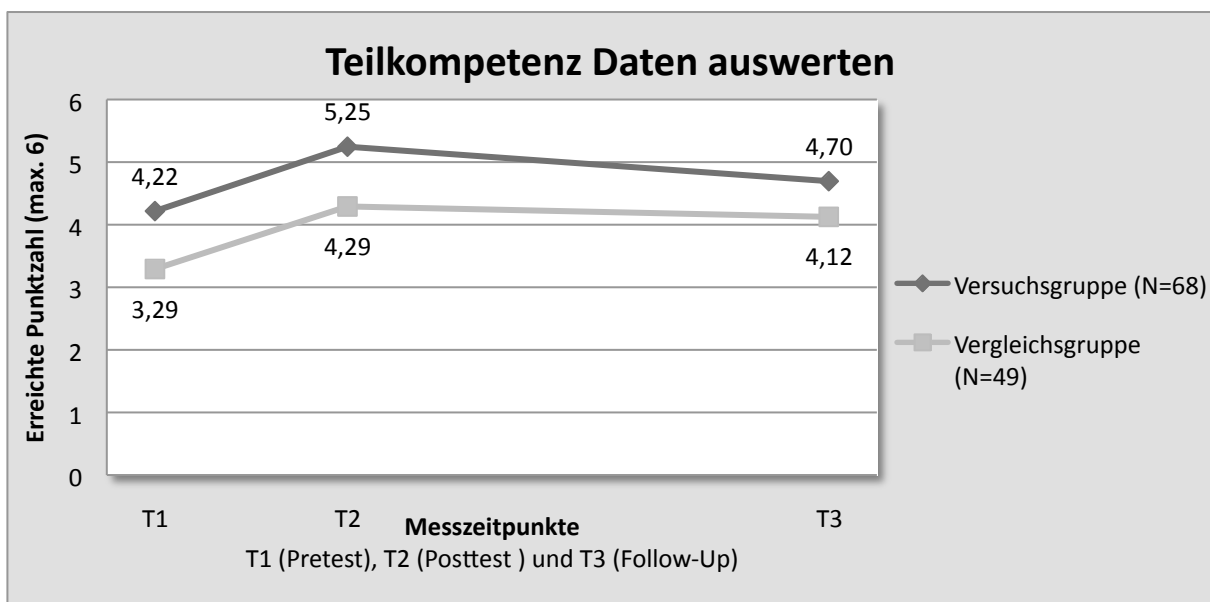


Abbildung 31: Messwiederholung der Teilkompetenz Daten auswerten im Gruppenvergleich (Pre-/Post-/Follow-Up-Vergleich)

(a) Zum Messzeitpunkt 1 weisen die Treatmentgruppen signifikant unterschiedliche Ausgangslagen auf (T1 $d = 0,51$; $p = 0,006$), bei der die Versuchsgruppe einen im Mittel um 0,93 Punkte höheren Kompetenzgrad mit 4,22 Punkten ($SD = 0,12$) gegenüber der Vergleichsgruppe mit 3,29 Punkten ($SD = 2,56$) verzeichnet.

(b) Die Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt, dass die Entwicklungen der Gruppen (Versuchs- und Vergleichsgruppen) nicht signifikant unterschiedlich verlaufen sowohl vom ersten (T1) zum zweiten Messzeitpunkt (T2) ($p = 0,93$) als auch vom ersten (T1) zum dritten Messzeitpunkt (T3) ($p = 0,33$).

Insgesamt werden keine positiven Effekte der Versuchsgruppe gegenüber der Vergleichsgruppe in der Teilkompetenz Daten auswerten beschrieben.

6.3.3 Effekt der Lernausgangslage auf den Lernzuwachs (Versuchsgruppe)

Zur weiteren Analyse des Lernzuwachses wird in Abhängigkeit zur Lernausgangslage eine bivariate Korrelation nach Kendall Tau b mit den Messzeitpunkten T1 zu T2 sowie T1 zu T3 durchgeführt (s. Tab. 29), die zur Evaluierung der zweiten Forschungsfrage dient. Die Ausgangsleistung wurde mit dem Lernzuwachs korreliert, wobei der Zuwachs durch die Differenz (erreichte Punktzahl T2) minus (erreichte Punktzahl T1) bzw. (erreichte Punktzahl T3) minus (erreichte Punktzahl T1) ausgedrückt wird.

Tabelle 29: Korrelation zwischen Ausgangslage der Versuchsgruppe und Lernzuwachs nach Kendall Tau b

| Teilkompetenz (Pretest) | Lernzuwachs T1 zu T2 | Lernzuwachs T1 zu T3 |
|---------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Fragestellung formulieren | -0,45** | -0,37** |
| Hypothesen generieren | -0,64** | -0,45** |
| Experiment planen | -0,76** | -0,48** |
| Experiment auswerten | -0,68** | -0,56** |

**. Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig).

Die Korrelation zwischen den Ergebnissen im Pretest und dem Lernzuwachs (T1 zu T2; T1 zu T3) berichtet signifikanten Zusammenhänge in allen vier Kompetenzen. Demnach besteht ein Zusammenhang zwischen der Lernausgangslage und dem Lernzuwachs. Leistungsstärkere Schülerinnen und Schüler zeigen allerdings keinen höheren Kompetenzzuwachs (positive Effekte) durch den Ansatz des problemlösenden Lernens und der Methode des Experimentierens im Vergleich zu leistungsschwächeren Probanden (verdeutlicht durch das negative Vorzeichen). Die Werte der Korrelation liegen im mittleren bis starken Bereich, so dass die leistungsschwächeren Schülerinnen und Schüler einen höheren Lernzuwachs erreichen.

6.3.4 Pre-/Post-/Follow-Up-Vergleich des Fachwissens (Versuchs- und Vergleichsgruppe)

Die dritte Forschungsfrage richtet sich nach dem Erwerb der Fachkompetenz und dem damit vermuteten positiven Effekt für die Versuchsgruppe. Zur Analyse wird eine Varianzanalyse mit Messwiederholung verwendet. Unterschiedliche Fallzahlen zu den vorausgegangenen Analysen resultieren in diesem Kapitel aufgrund fehlender Angaben im Fachwissenstest.

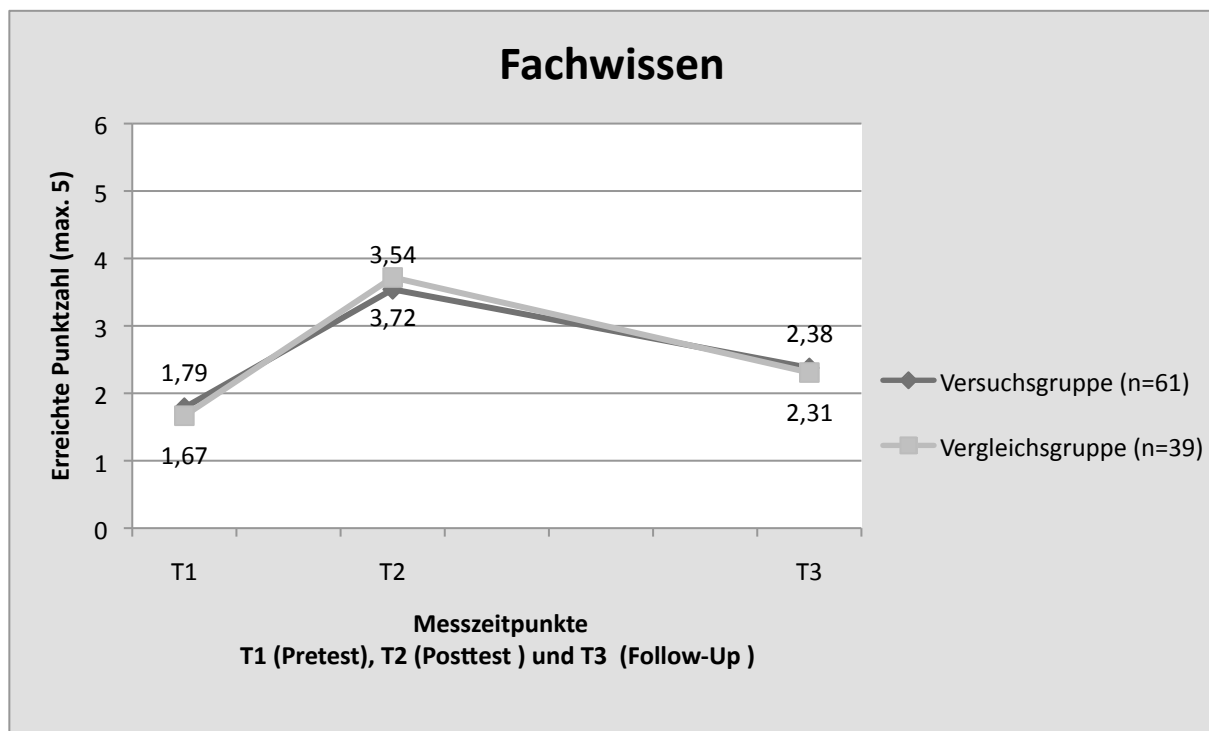


Abbildung 32: Messwiederholung des Fachwissens im Gruppenvergleich (Pre-/Post-/Follow-Up-Vergleich)

(a) Die Ausgangsvoraussetzungen im Pretest unterscheiden sich in den Gruppen (Versuchsgruppe: $MW = 1,92$; $SD = 1,38$) (Vergleichsgruppe $MW = 1,74$; $SD = 1,38$) nicht signifikant voneinander ($T1 d = 0,13$; $p = 0,54$). Im zweiten Messzeitpunkt erreichen beide Gruppen vergleichbare Kompetenzen (Versuchsgruppe: $MW = 4,27$; $SD = 1,25$) (Vergleichsgruppe: $MW = 4,29$; $SD = 1,53$). Es liegen keine signifikanten Unterschiede im Kompetenzgrad vor ($T2 d = 0,01$; $p = 0,94$). Auch im dritten Messzeitpunkt erreichen die Gruppen Kompetenzen (Versuchsgruppe: $MW = 2,88$; $SD = 1,44$) (Vergleichsgruppe: $MW = 2,63$; $SD = 1,51$), die sich nicht signifikant unterscheiden ($T3 d = 0,17$; $p = 0,41$).

(b) Die Varianzanalyse mit Messwiederholung zur Überprüfung der Kompetenzentwicklung der Gruppen im Vergleich der Messzeitpunkte ergibt sowohl vom ersten zum zweiten Messzeitpunkt keine signifikanten Unterschiede ($p = 0,35$) als auch vom ersten zum dritten Messzeitpunkt ($p = 0,87$). Insgesamt lassen sich zwischen beiden Gruppen keine Unterschiede in der Kompetenzentwicklung identifizieren, ein positiver Effekt liegt nicht vor.

6.3.5 Ergänzende Analyse: Pre-/Postvergleich des Zusammenhangs zwischen Selbsteinschätzung und Vorwissen (Versuchsgruppe)

Zur Überprüfung des Zusammenhangs zwischen der Selbsteinschätzung der Schülerinnen und Schüler sowie dem Vorwissen werden im ersten Schritt die Ergebnisse des Pretests untersucht. Dazu werden die Ergebnisse der Selbsteinschätzung (sehr schlecht bis sehr gut)

mit den Punktzahlen des Vorwissenstest 0 Punkte (keine Antwort richtig) bis 3 Punkte (drei Antworten richtig) in einer Kreuztabelle dargestellt (s. Tab. 30). Anschließend erfolgt die Überprüfung des Zusammenhangs zwischen der Selbsteinschätzung und den Ergebnissen des Vorwissenstests durch eine Korrelation nach Kendall Tau b. Im zweiten Schritt wird das Vorgehen mit den entsprechenden Daten des Posttests wiederholt (s. Tab. 31).

Tabelle 30: Zusammenhang zwischen Selbsteinschätzung und Vorwissen (Pretest)

| Pretest: Zusammenhang zwischen Selbsteinschätzung und Vorwissen (N=105) | | | | | | | |
|---|---------------|---|--------------------|-------|-------|------|--------|
| | | | Vorwissen (Punkte) | | | | Gesamt |
| | | | 0 | 1 | 2 | 3 | |
| Selbsteinschätzung | 1 sehr gut | N | 3 | 2 | 3 | 0 | 8 |
| | | % | 37,5% | 25,0% | 37,5% | 0,0% | 100,0% |
| | 2 gut | N | 19 | 24 | 20 | 2 | 65 |
| | | % | 29,2% | 36,9% | 30,8% | 3,1% | 100,0% |
| | 3 mittelmäßig | N | 11 | 11 | 7 | 2 | 31 |
| | | % | 35,5% | 35,5% | 22,6% | 6,5% | 100,0% |
| | 4 schlecht | N | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | | % | 100,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 100,0% |
| Gesamt | | N | 34 | 37 | 30 | 4 | 105 |
| | | % | 32,4% | 35,2% | 28,6% | 3,8% | 100,0% |

Die Verteilung verdeutlicht eine Verteilung zwischen keinem Punkt (32,4%), einem Punkt (35,2%) und zwei Punkten (28,6%) im Vorwissenstest des Pretests. Dabei erreichten prozentual die meisten Schülerinnen und Schüler einen geringen Vorwissensstand mit einem Punkt. Gleichzeitig schätzen die meisten Probanden ihre Experimentierkompetenz gut ein (N = 65). Die Korrelation zeigt einen Wert von -0,05 (Kendall Tau b) und $p = 0,54$. Im Pretest besteht kein Zusammenhang zwischen dem Vorwissen und der Selbsteinschätzung der Schülerinnen und Schüler.

Tabelle 31: Zusammenhang zwischen Selbsteinschätzung und Vorwissen (Posttest)

| Posttest: Zusammenhang zwischen Selbsteinschätzung und Vorwissen (N=104) | | | | | | | |
|--|---------------|---|-----------|-------|-------|--------|--------|
| | | | Vorwissen | | | | Gesamt |
| | | | 0 | 1 | 2 | 3 | |
| Selbsteinschätzung | 1 sehr gut | N | 0 | 1 | 2 | 8 | 11 |
| | | % | 0,0% | 9,1% | 18,2% | 72,7% | 100,0% |
| | 2 gut | N | 0 | 5 | 17 | 36 | 58 |
| | | % | 0,0% | 8,6% | 29,3% | 62,1% | 100,0% |
| | 3 mittelmäßig | N | 1 | 4 | 6 | 23 | 34 |
| | | % | 2,9% | 11,8% | 17,6% | 67,6% | 100,0% |
| | 4 schlecht | N | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| | | % | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 100,0% | 100,0% |
| Gesamt | | N | 1 | 10 | 24 | 68 | 103 |
| | | % | 1,0% | 9,7% | 23,3% | 66,0% | 100,0% |

Im Posttest schätzten die Mehrzahl der Probanden ihre Methodenkompetenz als mittelmäßig (N = 34) oder gut (N = 58) ein, dabei erreichten 66 % der Schülerinnen und Schüler einen sehr hohen Vorwissensgrad mit drei von drei Punkten im Vorwissenstest. Die Korrelation nach Kendall Tau b ergibt einen Wert von 0,00 und $p = 0,99$. Demnach liegt zwischen der Selbsteinschätzung und dem Vorwissen kein Zusammenhang im Posttest vor.

6.3.6 Ergänzende Analyse: Effekte des Lernzuwachses im Vergleich der Teilkompetenzen (Versuchsgruppe)

Der Lernzuwachs der Versuchsgruppe wird vom ersten zum zweiten Messzeitpunkt (N = 86) sowie vom ersten zum dritten Messzeitpunkt (N = 79) deskriptiv dargestellt, um anschließend durch eine Varianzanalyse mit paarweise Vergleichen signifikante Unterschiede im Lernzuwachs zwischen einzelnen Teilkompetenzen identifizieren zu können. Für den Vergleich der Zuwächse der einzelnen Teilkompetenzen wurden zunächst Differenzvariablen gebildet, die den individuellen Zuwachs ausdrücken (T2 minus T1 bzw. T3 minus T1). Diese Variablen wurden mit einer ANOVA mit Messwiederholung mit anschließenden paarweisen Vergleichen (LSD-Test) getestet.

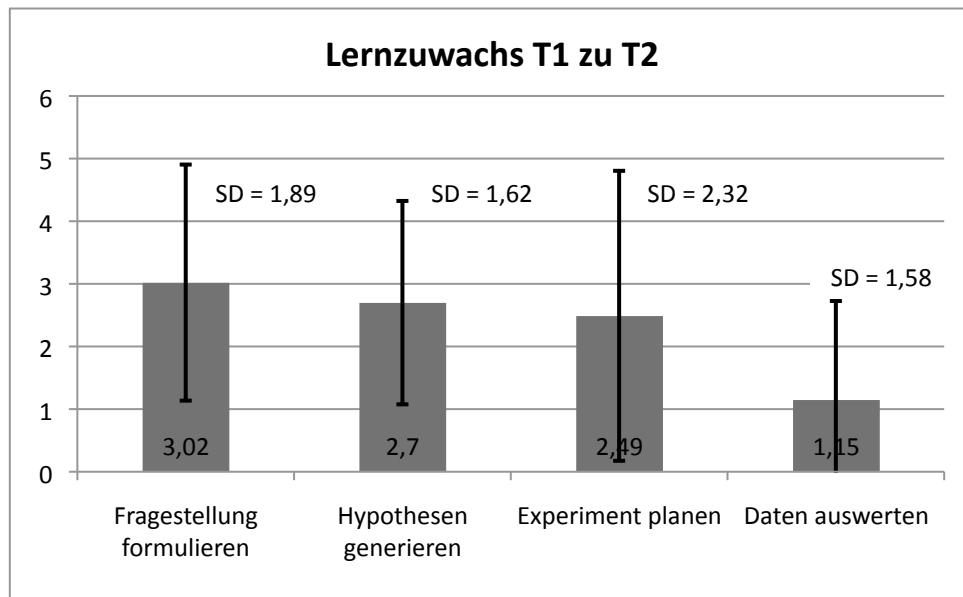


Abbildung 33: Lernzuwachs T1 zu T2

Die ANOVA zeigt signifikante Unterschiede zwischen den Zuwächsen T1 zu T2 ($p < 0,0001$). Statistisch signifikante Unterschiede liegen zwischen den Teilkompetenzen a) Fragestellung formulieren und d) Daten auswerten vor ($p < 0,001$) vor. Ebenso zwischen der Teilkompetenz b) Hypothesen generieren und der Kompetenz d) Daten auswerten ($p < 0,001$). Auch werden zwischen der Teilkompetenz c) Experiment planen und d) Daten auswerten signifikante Unterschiede deutlich ($p < 0,001$). Die statistischen Überprüfungen der verbleibenden Kompetenzpaare erweisen sich als nicht signifikant unterschiedlich.

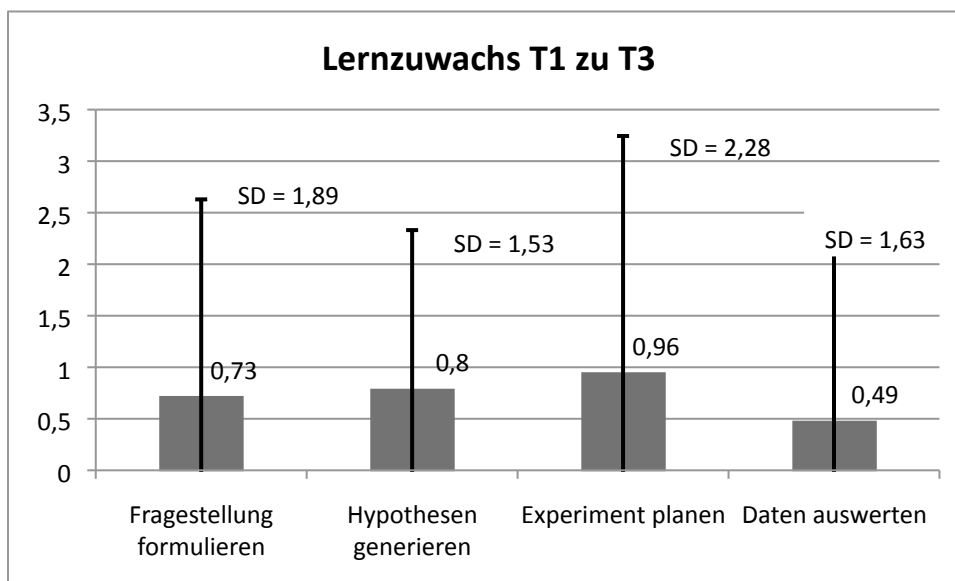


Abbildung 34: Lernzuwachs T1 zu T3

Die ANOVA zeigt keine signifikanten Unterschiede zwischen den Zuwächsen T1 zu T3 ($p = 0,45$).

Die statistische Überprüfung des Lernzuwachses vom Pretest zur Follow-Up-Erhebung zeigt keine signifikanten Ergebnisse zwischen den einzelnen Teilkompetenzen des Experimentierens. Es liegen demnach hinsichtlich des Lernzuwachses vom Pretest zu Follow-Up-Erhebung keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Teilkompetenzen vor.

6.4 Evaluationsstudie – Triangulation zum offenen Experimentieren

Es werden nun die Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler im offenen und praktischen Experimentierprozess analysiert. Ausgehend von der Intervention (Versuchsgruppe) wurde in der letzten Sequenz eine offene Aufgabe zum Thema Salzgehalt der Ostsee gestellt. Die Probanden, der an der Intervention beteiligten Versuchsgruppen, protokollierten unter Aufsicht ihrer Lehrkräfte das Vorgehen. 30 Schülerprotokolle sind entstanden, die im Folgenden detailliert analysiert werden. Die Evaluierungen der Forschungsfrage 4 und 5 sind das Ziel. Zur Analyse wird ein computergestütztes Verfahren unter Verwendung des Programms MAXQDA genutzt.

6.4.1 Offenes Experimentieren und Kompetenzstufenniveau 4 (Triangulation)

Die Auswertung der Teilkompetenzen und Niveaustufungen erfolgt anhand der Zuordnungen des Erstcodierers (s. Kap. 4.5.6). Dem methodischen Vorgehen entsprechend werden die Kennzeichen sowie der Vergleich von Einzelfällen aufgeführt (BORTZ und DÖRING 2006, S. 306). Beim deduktiven Vorgehen wird der Rahmen durch das Kategorienschema beschrieben. Die Codieranleitung ist dem Anhang zu entnehmen (s. Anhang Kap. IV). Diese Analyse zielt auf die Evaluierung der Forschungsfrage 4 ab, ob die Mehrzahl der Probanden in den Teilkompetenzen ein logisches, adäquates bzw. systematisches Niveau erreicht (Stufe 4). Im Rahmen der Triangulation werden zur Analyse zunächst qualitative Vergleiche vorgenommen, die anschließend durch quantitative Darstellungsverfahren verdeutlicht werden. Dem folgt die detaillierte Analyse der verschiedenen Kompetenzstufen, um anhand dieser die Problemfelder zu identifizieren und damit die Evaluierung der Forschungsfrage 5 zu ermöglichen. Da die Ergebnisse der Schülergruppen vergleichbare Strukturen aufweisen, werden nicht alle Protokoll- und Textpassagen vorgestellt, sondern Einzelbeispiele beleuchtet. Die Zuordnung der Kategorien erfolgt auf Grundlage der vier Niveaustufungen. Die Kompetenzstufe 4 der Teilkompetenzen (Fragestellung formulieren, Hypothesen generieren, Planung eines Experiments, Daten auswerten) wird anhand exemplarischer Ausschnitte detaillierter

analysiert. Entsprechend dem methodischen Vorgehen der Experimentiermethode steht zu Beginn die Analyse der Teilkompetenz Fragestellung.

6.4.1.1 Teilkompetenz Fragestellung formulieren

In der Teilkompetenz Fragestellung werden vom Sample (N = 30) 28 Fragestellungen einem adäquaten Niveau (Stufe 4) zugeordnet. Die Fragestellungen stehen im Zusammenhang mit dem Phänomen und sind überprüfbar. Im Folgenden werden einzelne, exemplarische Schülerergebnisse der Kompetenzstufe 4 detaillierter analysiert. Die verbleibenden sind dem Anhang zu entnehmen (s. Anhang Kap. V). Das Beispiel C13-F wird als erstes Fallbeispiel ausgewählt, da die Fragestellung grundlegende und beispielhafte Elemente aufweist, die in ähnlichen Formulierungen auch in den verbleibenden Fragestellungen vorliegen.

Beispiel 1: Fragestellung formulieren Stufe 4

C13-F Vermischt sich das Süß- und Salzwasser nicht?

Die Fragestellung steht im Zusammenhang mit dem Phänomen, das dadurch gekennzeichnet ist, dass das Wasser der Ostsee unterschiedliche Salzgehalte aufweist. Die Frage wurde adäquat formuliert und kann im Experiment überprüft werden.

6.4.1.2 Teilkompetenz Hypothesen generieren

In der Teilkompetenz Hypothesen werden 20 Ergebnisse der Kompetenzstufe 4 zugeordnet, acht dem Niveau 3 und zwei dem Niveau 2. Keine Schülergruppe wird in das Kompetenzniveau 1 eingestuft. Die Kompetenzstufe 4 der Teilkompetenz Hypothesen generieren ist durch drei Elemente definiert: a) Hypothesen beziehen sich auf die Fragestellung, b) multiple Hypothesen werden formuliert (H1 und H0) und c) erfolgreiche Hypothesenrevisi- on.

Beispiel 2: Hypothesen generieren Stufe 4

A1-H

Hypothese (1): Wenn das Wasser mit dem höheren Salzgehalt sich unten befindet und das Wasser mit dem geringeren Salzgehalt sich oben befindet, dann vermischt sich das Wasser nicht.

*Gegenhypothese (0) Der Salzgehalt hat keinen Einfluss auf die Vermischung.
Hypothese ist bestätigt, Gegenhypothese ist widerlegt*

Der Ausschnitt A1-H zeigt die Hypothesen (H1 und H0), die im Zusammenhang mit dem Phänomen stehen. Begründete Hypothesen werden formuliert, die eine gezielte Überprüfung und Revision ermöglichen. Durch die vermutete Lage des Salzwassers (höherer Salzgehalt unten, geringerer oben) werden konkrete Experimentaufbauten und Durchführungen im Fo-

kus der Revision ermöglicht, die bereits auf unterschiedliche Dichteverhältnisse von Süß- und Salzwasser schließen lassen. Ein hohes Niveau der Hypothesenformulierung und Hypothesenrevision sind gegeben. Stufe 4 des Kompetenzmodells wird erreicht.

6.4.1.3 Teilkompetenz Planung eines Experiments

In der Teilkompetenz Planung werden 12 schriftliche Protokollausschnitte der Stufe 4 zugeordnet, 15 der Stufe 3 und drei dem Kompetenzniveau 2. Die Stufe 4 ist durch die folgenden Kriterien definiert: a) abhängige und unabhängige Variablen werden adäquat differenziert, b) Variation der unabhängigen Variable erfolgt, c) Kontrollvariablen werden konstant gehalten und d) Kontrollansatz wird berücksichtigt. Das Beispiel 3 verdeutlicht beispielhaft eine Planung der Kategorie 4, die einem systematischen Umgang entspricht.

Beispiel 3: Planung eines Experiments Stufe 4

D25-P

abhängige Variable: Vermischung

unabhängige Variablen: korrekte Variation des Salzgehalts (g)

Kontrollvariablen: Gefäßgröße (100 ml), Wassermenge (50 ml) kontrolliert

Skizze: [vorhanden] drei Messzylinder farbig angemalt entsprechend den bereitgestellten Lösungen mit Beschriftung und Benennung des Kontrollansatzes

| Unabhängige Variable | Abhängige Variable | Kontrollvariable | |
|----------------------|------------------------|------------------|------------------------|
| Salzmenge (g) | Vermischung | Wasser (ml) | Größe des Gefäßes (ml) |
| 0g 50g | 25 40ml wird ebenfalls | 50ml | 100ml |
| 10g 50g | vermischt sich nicht | 50ml | 100ml |
| 50g 0g | 30ml - 40ml vermischt | 50ml | 100ml |
| oben & unten | | | |

Zeichnung:

Zur besseren Verständlichkeit wird der Transkription ein Ausschnitt des Schülerprotokolls zugefügt. Entsprechend den Kriterien wird die Vermischung (des Süß- und Salzwassers) als abhängige Variable identifiziert und dementsprechend die Variation der Salzmenge berücksichtigt und geplant. Die Faktoren Gefäßgröße und Wassermenge inklusive der Mengenangaben werden kontrolliert. Damit werden zum einen die Kontrollvariablen konstant gehalten und zum anderen wird das Kriterium der Reproduktion, ergänzt durch die genaue Protokollierung, gesichert. Die Benennung des Kontrollansatzes erfolgt im späteren Textverlauf, so dass alle Kriterien eines Experiments erfüllt sind.

6.4.1.4 Teilkompetenz Daten auswerten

Die Teilkompetenz Daten auswerten (Niveaustufe 4) ist durch drei Kriterien definiert: a) Beobachtung wird genau beschrieben, b) Ergebnisse werden auf Problem rückbezogen und fachlich korrekt entsprechend dem Raumbeispiel interpretiert, c) Analyse gelingt auch bei Anomalien (z. B. Messfehlern). 10 der N = 30 Ausschnitte werden der Stufe 4 zugeordnet, elf der Stufe 3, vier in die Kompetenzstufe 2 und 5 in die Stufe 1. Das Beispiel 4 zeigt die Datenauswertung der Gruppe C16.

Beispiel 4: Daten auswerten Stufe 4

C16-A

Beobachtung: (1) oben 0 g Salz; unten 50 g Salz: Es vermischt sich nicht. (2) oben 0 g; unten 10 g: Hier vermischt es sich wieder nicht. (3) oben 50 g; unten 0 g: Es vermischt sich.

Erklärung: (1) Es vermischt sich, weil das blaue Wasser (50 g Salz) einen hohen Salzgehalt hat und daher schwerer ist als das rote Wasser (10 g Salz), das weniger Salz hat als das blaue Wasser. (2) Hier vermischt es sich wieder nicht, da das schwerere Wasser, also das rote Wasser, wieder unten ist und das Süßwasser oben. (3) Es vermischt sich, weil wir das Süßwasser diesmal zuerst reingeschüttet haben und dann erst das schwerere Wasser, also das Salzwasser.

Interpretation: Der Salzgehalt in der Ostsee ist unterschiedlich hoch, weil von einer Seite das Süßwasser kommt und von der Nordsee das Salzwasser angespült wird. Deswegen vermischen sich Salz- und Süßwasser kaum und deswegen hat die Ostsee verschiedene Salzgehalte.

Die Datenauswertung der Gruppe C16 ist der Stufe 4 zuzuordnen. Die Probanden beschrieben ihre Ergebnisse genau und formulieren eine darauf aufbauende Erklärung. Es erfolgt zunächst die Beobachtung, dass es zur Schichtbildung kommt, wenn salzhaltiges Wasser im unteren Bereich vorliegt. Der Einfluss des Salzgehalts in Abhängigkeit von der Lage wird durch den Kontrollansatz (Ansatz 3) und die daraufhin beschriebene Vermischung der Schichten bestätigt. Die Beobachtung ist zur Hypothesenrevision geeignet. Die Übertragung auf das Raumbeispiel gelingt anhand der Ergebnisse, indem die topographischen Voraussetzungen (Süßwasser von Nordost und Salzwasserzufluss von Westen) als Erklärung herangezogen werden.

6.4.1.5 Zusammenfassung

Die abschließende Zusammenfassung der Kompetenzeinstufungen erfolgt durch deskriptive Darstellungsverfahren mit dem Ziel, eine Gesamtübersicht zu konzipieren, die eine spätere zusammenführende Diskussion der Forschungsfragen und Forschungsergebnisse erleichtert. Auf Signifikanzanalysen wird im Folgenden aufgrund der geringen Stichprobe verzichtet.

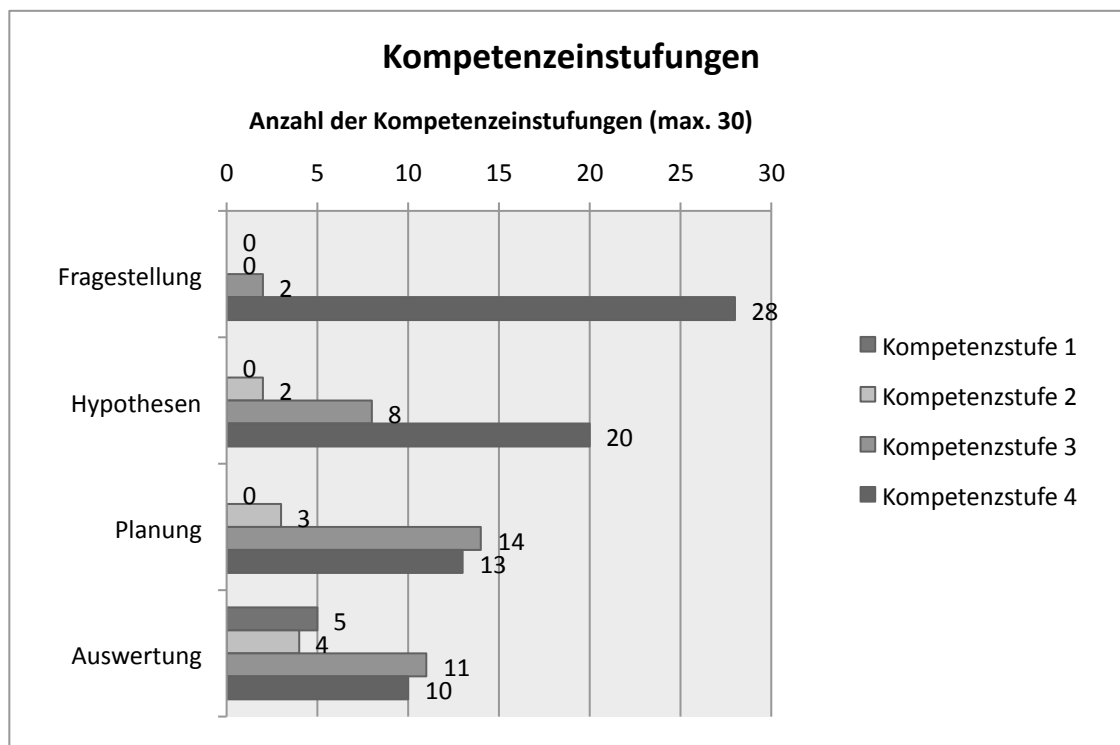


Abbildung 35: Kompetenzeinstufungen im offenen Experimentierprozess (Evaluationsstudie)

In der Kompetenzentwicklung durch offenes Experimentieren wird im Kompetenzniveau 4 die folgende Reihenfolge belegt: Daten auswerten → Planung eines Experiments → Hypothesen generieren → Fragestellung formulieren. Die Mehrzahl der Probanden erreichen in den Teilkompetenzen Fragestellung und Hypothesen ein systematisches und adäquates Kompetenzniveau. In den Bereichen Planung eines Experiments und Daten auswerten erreicht die Mehrzahl der Gruppen die Kompetenzstufe 3. Die in diesem Kapitel analysierte Kompetenzstufe 4 wird im Folgenden durch die detaillierte Analyse der verbleibenden Kompetenzeinstufungen ergänzt. Die Evaluierung der letzten Forschungsfrage und damit der spezifischen Defiziten in der Methode des offenen Experimentierens bildet das Ziel.

6.4.2 Offenes Experimentieren und Problembereiche

In vorausgegangenen Studien wurden in den vier Teilkompetenzen spezifische Problemfelder in der Methode des Experimentierens identifiziert (z.B. DE JONG, VAN JOOLINGEN 1998; HAMMANN ET. AL. 2006; GRUBE 2010). Da die Studien aus biologiedidaktischen bzw. psychologischen Perspektiven konzipiert und evaluiert wurden, bleibt der Transfer auf den Geographieunterricht und dessen Experimentierverständnis offen. Auf Grundlage der bisherigen Befunde wird in der vorliegenden Studie davon ausgegangen, dass auch im geographischen Experimentieren in den Teilkompetenzen besondere Defizite erhoben werden können, die in weiteren Interventionen sowie der Unterrichtspraxis impliziert werden müssen. Die Evaluierung der Problemfelder erfolgt durch Einzelfallanalysen.

6.4.2.1 Teilkompetenz Fragestellung formulieren

In der Teilkompetenz Fragestellung werden geringe spezifische Defizite aufgedeckt. Stufe 3 des Kompetenzentwicklungsmodells ist definiert als eine Fragestellung, die im Zusammenhang mit dem Phänomen steht, jedoch nicht überprüfbar ist. Zwei Schülerfragen wurden der Stufe 3 zugeordnet (s. Anhang Kap. V Teilkompetenz Fragestellung formulieren), eine exemplarische Auswahl wird im Ausschnitt A3-F vorgestellt.

Beispiel 1: A3-F

A3-F Vermischen sich die unterschiedlichen Bereiche mit Salzgehalt der Ostsee nicht?

Frage A3-F steht im Zusammenhang mit dem Phänomen, wird jedoch undeutlich formuliert. Formulierungsschwierigkeiten werden als Probleme identifiziert, die eine adäquate Überprüfung erschweren können. Einstufungen in die Niveaubereiche 2 und 1 erfolgen nicht.

6.4.2.2 Teilkompetenz Hypothesen generieren

Der Teilbereich Hypothesen ist durch drei Elemente charakterisiert: a) Hypothesen beziehen sich auf die Fragestellung, b) multiple Hypothesen werden formuliert, c) erfolgreiche Hypothesenrevision. Die Schülerergebnisse lassen auf spezifische Probleme schließen, die auf Basis der drei Charakteristika beruhen. Anhand von drei exemplarischen Ergebnissen werden die Problemfelder analysiert.

Beispiel 1: B6-H

*Hypothese (1): Süßwasser vermischt sich nicht mit Salzwasser.
Gegenhypothese (0): Süßwasser vermischt sich mit Salzwasser.
Hypothese (1) bestätigt sich; Gegenhypothese (0) widerlegt sich*

Die Hypothese (1) und Gegenhypothese (0) der Gruppe B 6 (Beispiel 1) stehen im Zusammenhang mit der Fragestellung und werden erfolgreich revidiert, so dass der Textausschnitt B6-H der Stufe 4 zugeordnet wird. Trotz angemessenem Vorgehen wird ein Problem sichtbar: den Hypothesen fehlt eine genauere Beschreibung bzw. eine Begründung. Die Vermutung ‚Süßwasser vermischt sich nicht mit Salzwasser‘ kann theoretisch (vgl. Kontrollansatz) aus den ermittelten Ergebnissen zugleich widerlegt werden. Zwar werden die Bedingungen der Niveaustufe 4 erfüllt, dennoch wird ein Problemfeld deutlich, das in den definierten Kompetenzstufen zugrunde liegt.

Das zweite Beispiel zeigt ein oftmals erhobenes Problem der Teilkompetenz Hypothesen, die fehlende Hypothesenrevision.

Beispiel 2: A2-H

Hypothese (1): Wenn in den unteren mehr und in den oberen Schichten weniger Salz vorhanden ist, dann vermischt sich das Wasser nicht.

Gegenhypothese (0): Die Lage und der Salzgehalt haben keinen Einfluss auf die unterschiedlichen Schichten.

[keine Hypothesenrevision]

Die Hypothesensuche erfolgt im Beispiel 2 systematisch, allerdings ohne abschließende Revision. Neun der nicht in Stufe 4 eingeordneten Hypothesen sind durch dieses Defizit gekennzeichnet. Ein erweiterter Problembereich der Hypothesenrevision wird anhand der Ausführungen der Gruppe A4 (s. Anhang Kap. V Teilkompetenz Hypothesen generieren) deutlich, in der die Revision erfolgt, diese den Beobachtungen jedoch widerspricht. Die Hypothesenrevision erfolgt somit nicht auf Grundlage der Beobachtungen. Der dritte Problembereich, der im Kontext der Hypothesen identifiziert werden konnte, ist die Formulierung von Hypothesen, die nicht im Zusammenhang mit der Fragestellung stehen. Sie werden im folgenden am Beispiel 3 detailliert erläutert.

Beispiel 3: D19-H

Hypothese (1): Das Salzwasser ist schwerer als das Süßwasser und deshalb vermischt es sich nicht.

Gegenhypothese (0): Die Temperatur hat keinen Einfluss auf die Vermischung von Salz- und Süßwasser.

Hypothese (1): Das Salzwasser ist schwerer als das Süßwasser und deshalb vermischt es sich nicht.

Gegenhypothese (0): Die Temperatur hat keinen Einfluss auf die Vermischung von Salz- und Süßwasser.

Die Hypothesen werden im Beispiel 3 (D19-H – Stufe 2) unlogisch formuliert. Ein in der Hypothese (1) nicht aufgeführter Faktor (Temperatur) wird in der Gegenhypothese benannt. Der Faktor Temperatur beinhaltet nicht den Inhalt der Hypothese (1), vielmehr scheint eine weitere Hypothese (2) im Sinne multipler Hypothesen angemessen. Dem Faktor Temperatur wird zudem in den folgenden Planungs- und Auswertungsphasen nicht weiter nachgegangen. Ein unsystematisches Vorgehen wird deutlich, das dem weiteren methodischen Prozess entgegenwirkt (z. B. Hypothesenrevision).

6.4.2.3 Teilkompetenz Planung eines Experiments

Im Teilbereich Planung werden Defizite insbesondere im Kontext der Variablen identifiziert. Bereits in Stufe 4 werden Probleme in den Bereichen Kontrollvariablen, Kontrollansatz und Variation erhoben. Beispiel 1 (A4-P) verdeutlicht zunächst den Aspekt Kontrollvariablen.

Beispiel 1: A4-P

abhängige Variable: Schichten

unabhängige Variablen: korrekte Variation des Salzgehalts (g)

Kontrollvariablen: Wassermenge (50 ml) kontrolliert

Skizze: [vorhanden] drei Messzylinder farbig angemalt entsprechend den bereitgestellten Lösungen mit Beschriftung und Benennung des Kontrollansatzes

Die Gruppe berücksichtigte nur eine mögliche Kontrollvariable. Dennoch erfolgt die Codierung in Stufe 4. Begründet wird die Entscheidung mit der ansonsten vollständigen Planung unter Berücksichtigung aller Variablen sowie dem Kontrollansatz. Die abhängige und unabhängige Variablen werden adäquat differenziert und variiert, die Kontrollvariable wird konstant gehalten. Der zweite Problembereich der Teilkompetenz Planung fokussiert das Kriterium Kontrollansatz. Im Textausschnitt der Gruppe C14-P (Beispiel 2) wird deutlich, dass die Benennung des Kontrollansatzes in der Planungsphase nicht erfolgt.

Beispiel 2: C14-P

abhängige Variable: Schichtung

unabhängige Variablen: korrekte Variation des Salzgehalts (g)

Kontrollvariablen: Gefäßgröße (100 ml), Wassermenge (50 ml) kontrolliert Skizze: keine

Beobachtung:
Da wo das Salz im Wasser eingemischt war ~~es~~ und als erstes eingetüllt war ist es getrennt geblieben. Das liegt daran das Salz schwerer als Wasser ist, bei dem Kontrollansatz hat sich das Wasser vermischt.

Dennoch wird der Textabschnitt dem Kompetenzbereich 4 zugeordnet, da die Probanden in der Datenauswertung (Beobachtung) den Kontrollansatz einbinden und damit ein bewusster und überlegter Umgang deutlich wird. Eine zufällige, unbewusste Planung wird ausgeschlossen, da zur Erklärung der Beobachtungen der Kontrollansatz verwendet wird. Demgegenüber steht Beispiel 3 der Gruppe B6.

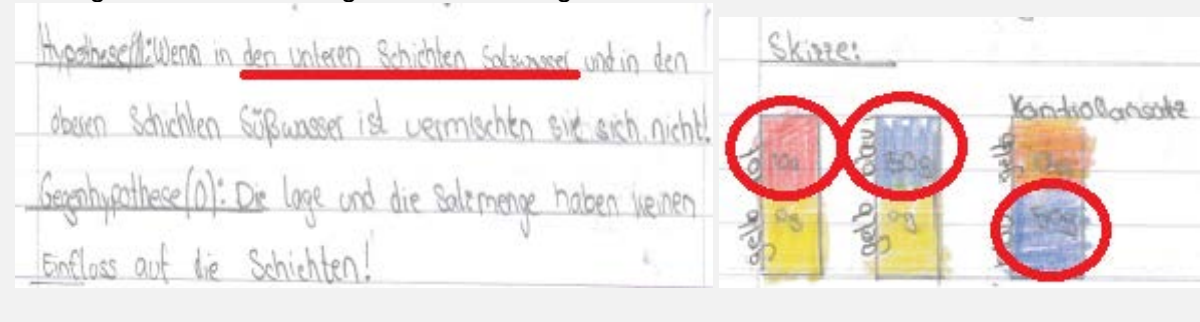
Beispiel 3: B6-P

abhängige Variable: Vermischung von Süß- und Salzwasser
 unabhängige Variablen: korrekte Variation des Salzgehalts (g)
 Kontrollvariablen: Wassermenge (50 ml) kontrolliert
 Skizze: keine

Die Probanden verwenden zum einen keinen Kontrollansatz in der Konzeption, obwohl dieser durchgeführt wird, und nutzen ihn zum anderen für die Erklärungen nicht. Eine zufällige, unbewusste Durchführung des Kontrollansatzes kann nicht ausgeschlossen werden, so dass die entsprechenden Planungsansätze der Stufe 3 des Kompetenzmodells zugeordnet werden. Stufe 3 wird u. a. im Kontext des fehlenden Kontrollansatzes definiert. Der dritte identifizierte Problembereich, die Variation, wird am Beispiel 4 verdeutlicht.

Beispiel 4: A5-P

abhängige Variable: Vermischung
 unabhängige Variablen: Zwei der drei Aufbauten wurden umgekehrt geplant (oben höherer Salzgehalt als unten).
 Kontrollvariablen: Gefäßgröße (100 ml), Wassermenge (50 ml) kontrolliert
 Skizze: [vorhanden] drei Messzylinder farbig angemalt entsprechend den bereitgestellten Lösungen mit Beschriftung und Benennung des Kontrollansatzes.



Die Planung dient nur bedingt der Hypothesenüberprüfung. Es wird vermutet, dass das Salzwasser in den unteren Schichten sein muss. Demgegenüber werden zwei Experimentieransätze konträr zu dieser Vermutung konzipiert, indem die Positionierung des Salzwassers in den oberen Schichten erfolgt. Der Kontrollansatz wird demnach nicht richtig eingesetzt bzw. die Variation der unabhängigen Variable unlogisch geplant und umgesetzt. Bei weiteren Experimentansätzen fehlt die Variation vollständig (z. B. C17-P). Im Problembereich des Kriteriums Variation erfolgt die Einstufung in das Kompetenzniveau 2 des Kompetenzstufenmodells.

6.4.2.4 Teilkompetenz Daten auswerten

Im letzten Teilbereich werden die Problemfelder der Auswertungskompetenz analysiert. Zwei auffällige Problemfelder können identifiziert werden, die in der fehlenden Interpretation (Übertragung auf das Raumbeispiel) sowie widersprüchlichen Erklärungen im Kontext der

Beobachtungen (unangemessener Umgang mit Anomalien) liegen. Der unangemessene Umgang mit unerwarteten Ergebnissen bzw. Anomalien wird am Beispiel 1 (A4-A) analysiert.

Beispiel 1: A4-A

Beobachtung: Der Kontrollansatz [oben 50 g Salz und unten 10 g Salz] vermischt sich. Der 2. Versuch [oben 10 g Salz und unten 50 g Salz], da sieht man, dass es sich vermischt. Beim 3. Versuch [oben 0 g Salz und unten 50 g Salz] hat es sich alles deutlich vermischt. Der Kontrollansatz vermischt sich sichtbar. Beim 2. Versuch vermischt es sich deutlich. Der 3. Versuch: da hat sich alles vermischt.
Erklärung: Das Salz vermischt sich nicht, weil es schwerer ist. Das mit dem höheren Gehalt ist schwerer und schwimmt deswegen nach unten. Bei dem Kontrollansatz vermischt sich alles, weil nur 50 g darin sind.

Beobachtung: Der Kontrollansatz vermischt sich sichtbar.
Der 2. Versuch: Bei dem 2. Versuch vermischt es sich deutlich.
Der 3. Versuch: Da hat sich alles vermischt.
Erklärung: Das Salz vermischt sich nicht, weil es schwerer ist. Das mit dem höheren Gehalt ist schwerer und schwimmt deswegen nach unten.
Bei dem Kontrollansatz vermischt sich alles weil nur 50 g Salz ~~darin~~ ist.

Die Probanden konzipieren drei Experimentansätze, die durchgeführt werden. Neben einer angemessenen Variation wird der Kontrollansatz geplant. Die anschließende Formulierung der Beobachtung zeigt, dass es bei allen drei Durchführungen zu einer Vermischung der Wasserschichten kommt. Eine Anomalie ist aufgetreten, die den erwarteten Beobachtungen widerspricht. Der daraufhin folgende Erklärungsansatz „...vermischt sich nicht...“ verdeutlicht den unangemessenen Umgang mit den Beobachtungen. Es treten unerwartete Ergebnisse auf, die von den Schülerinnen und Schülern nicht berücksichtigt werden. Die eigenen Annahmen werden hingegen als Grundlage der Erklärung sowie der Hypothesenrevision verwendet. Eine Fehler- oder Methodendiskussion erfolgt nicht, die im Sinne eines entsprechenden Umgangs mit Anomalien auf Basis der Methode angemessen ist. Die Einstufung in den Kompetenzbereich 3 erfolgt in diesem und vergleichbaren Textausschnitten (s. Anhang Kap. V Teilkompetenz Daten auswerten).

Der zweite Problembereich wird in der fehlenden Interpretation bzw. der fehlenden Übertragung auf das Raumbeispiel Ostsee identifiziert. Am Beispiel 2 (D19-A) erfolgt die weitere Analyse.

Beispiel 2: D19-A

Beobachtung: Schüttet man Salzwasser in ein Gefäß, wo der niedrigere Salzgehalt unten und der höhere oben ist, so vermischt es sich. Ist aber der niedrigerer Salzgehalt oben und der höhere unten, so vermischt es sich nicht und es bilden sich Farbschichten. Trifft sich das Salzwasser mit dem Süßwasser unten, vermischt es sich und man sieht keinen Unterschied.

Weiterführende Fragen: Was passiert, wenn man Süßwasser und Süßwasser mit unterschiedlichem Zuckergehalt zusammenschüttet?

Die Probanden formulieren die Beobachtung auf Grundlage ihrer Hypothese „*Das Salzwasser ist schwerer als das Süßwasser und deshalb vermischt es sich nicht*“. Die Planung und Durchführung erfolgt mit dem Ziel, die Hypothese zu überprüfen. Ein Ergebnistransfer bleibt hingegen offen. Die Probanden bleiben auf dem Niveau des Experiments und stellen keinen Raumbezug her, so dass die Erkenntnisgewinnung auf dem künstlichen Niveau stagniert und der Transfer zum konkreten Raum nicht erfolgt. Dieser Problembereich wurde bei der Mehrzahl der Protokolle (19 von 30) erhoben.

7 Diskussion

Die Diskussion der Ergebnisse erfolgt systematisch und entsprechend der Konzeption von der Normierungs- und Interventionsstudie zur Evaluationsstudie.

7.1 Normierungsstudie

Durch die Normierungsstudie wurden in einer Querschnittsstudie Kompetenzen des Experimentierens und des Fachwissens von Schülerinnen und Schülern der Jahrgänge 5 bis 9 erhoben. Zum einen wurde die Überprüfung der Güte des neu konzipierten Messinstruments ermöglicht, zum anderen konnten durch die Erhebung der Ausgangssituation begründete Entscheidungen für die Konzeption der folgenden Studien getroffen werden. Die Analysen werden durch Korrelationsuntersuchungen, geschlechterspezifische Effekte sowie Aspekte der Selbststeinschätzung ergänzt.

7.1.1 Experimentierkompetenz

Die Skalen des Kompetenztests sind an der Überprüfung der vier Teilkompetenzen des Experimentierens ausgerichtet, die aus den Bereichen a) Fragestellung formulieren, b) Hypothesen generieren, c) Planung eines Experiments, d) Daten auswerten bestehen. In der Normierungsstudie wird deutlich, dass das Kompetenzniveau in den Jahrgängen 5 bis 7 signifikant ansteigt (5/6 $p < 0,001$; 6/7 $p = 0,002$). Auch in der Studie von HOF (2011) verzeichnen die Probanden der Jahrgangstufen 5 bis 7 einen Anstieg in der Experimentierkompetenz. In gymnasialen Bildungswegen steigt der Kompetenzgrad bis zur Klassenstufe 9 weiter an (HOF 2011, S. 94). In der vorliegenden Studie ist die Kompetenzabnahme vom Jahrgang 7 zur Klassenstufe 8 auffällig. Zudem erfolgt keine signifikante Kompetenzzunahme zwischen den Jahrgängen 8 und 9. In der Normierungsstudie von HOF (2011) wird eine Kompetenzsteigerung belegt, bei der allerdings zwischen den Jahrgängen 8 und 9 des Bildungszweigs Realschule eine Abnahme in der Experimentierkompetenz im Median um einen Punkt zu verzeichnen ist. In der Studie von GRUBE (2010) wird eine signifikante Kompetenzzunahme mit schwachen bis mittleren Effekten ($p \leq 0,01$; $d \geq .20$) zwischen den Jahrgängen 5/6 und 7/8 belegt. Es werden hingegen keine signifikanten Zunahmen zwischen den Jahrgängen 6/7 und 8/9 deutlich (GRUBE 2010, S. 60). Die biologiedidaktischen Studien von GRUBE (2010) und HOF (2011) bestätigen die Stagnation des Kompetenzgrades, bei HOF (2011) im Bildungsgang Realschule zwischen den Jahrgängen 8 und 9. Offen bleibt damit die in der vorliegenden Studie belegte Kompetenzabnahme zwischen den Klassenstufen 7 und 8. Eine mögliche Schlussfolgerung ist die besonders effektive Kompetenzzunahme in den Jahrgängen 5 bis 7. GRUBE (2010) belegt für die niedrigeren Jahrgänge (5 bis 7) signifikant effektivere Kompetenzentwicklungen im Vergleich zu höheren Jahrgängen (9 bis 10) im

Längsschnitt eines Jahres. Allerdings belegt sie zugleich, dass im Jahrgang 8 in der Längsschnittanalyse höhere Werte erreicht werden als im Jahrgang 7. Diese sind jedoch nicht signifikant (GRUBE 2010, S. 72 f.).

Unter fachspezifischen Perspektiven kann der bis 2012 verpflichtende Lehrplan Hessens Erklärungsoptionen bieten. Demnach wird in den Jahrgängen 7 und 8 laut Lehrplan das Fach Erdkunde nicht unterrichtet. Können die Schülerinnen und Schüler im Jahrgang 7 ihre Kompetenzen aus dem Erdkundeunterricht des Jahrgangs 6 noch anwenden, so ist dies im Jahrgang 8 nur noch bedingt möglich. In den integrierten Gesamtschulen in Hessen, die das Verbundfach Gesellschaftslehre anbieten, liegt der thematische Schwerpunkt, orientiert an den Lehrplänen, in den Jahrgängen 8, 9 und 10 in den gesellschaftswissenschaftlichen Fächern Politik/Wirtschaft und Geschichte. Dennoch muss berücksichtigt werden, dass die Schülerinnen und Schüler in den Jahrgangsstufen 8 und 9 in Hessen verstärkt in den naturwissenschaftlichen Fächern unterrichtet werden und demnach davon ausgegangen werden muss, dass sie Experimentierkompetenzen entwickeln konnten.

Die Darstellung der Teilkompetenzen in Abhängigkeit zur Jahrgangsstufe verdeutlicht ein differenziertes Bild der Experimentierkompetenz. Demnach wird die Kompetenzzunahme von Jahrgang 5 bis 7 ebenso bestätigt wie die Kompetenzabnahme zur Jahrgangsstufe 8. Die Analyse der Gesamtstichprobe der Teilkompetenzen zeigt Leistungsunterschiede innerhalb der einzelnen Kompetenzen. In den Teilbereichen Hypothesen generieren und Daten auswerten werden höhere Kompetenzgrade erreicht als in den Teilkompetenzen Fragestellung formulieren und Planung eines Experiments. Auch in GRUBES Studie (2010) werden diese Unterschiede in den einzelnen Teilkompetenzen belegt und in der Diskussion erörtert (GRUBE 2010, S. 90). Demnach wurden besonders hohe Effektstärken in den Kompetenzen Hypothesen und Deutung nachgewiesen, die Reihenfolge der Teilkompetenzen mit absteigendem Niveau entsprechen ebenfalls den vorliegenden Ergebnissen in der Abfolge Daten auswerten → Hypothesen generieren → Planung eines Experiments → Fragestellung formulieren (GRUBE 2010, S. 63). Insgesamt werden Bezüge zu verschiedenen Studien deutlich (Z. B. HAMMANN ET AL. 2007; GRUBE 2010).

Zur Diskussion der hohen Punktwerte in der Teilkompetenz Daten auswerten kann eine mögliche Ursache aufgeführt werden: Der Umgang mit Tabellen und Graphiken ist eine den Probanden bekannte Methode aus dem mathematisch-naturwissenschaftlichen sowie sozialwissenschaftlichen Unterricht. Auswertungsübungen, ob graphischer, tabellarischer oder auf Diagrammen basierenden Daten, kennen die Lernenden aus anderen Fachdisziplinen. So wird im Mathematikunterricht der Klassenstufe 7 (Bildungsgang Realschule) die beschreibende Statistik im Lehrplan als verbindlicher Unterrichtsinhalt aufgeführt (KULTUSMINISTERKONFERENZ 2013d, S. 16). In den hessischen Bildungsstandards des Fa-

ches Politik und Wirtschaft wird konkret die Kompetenz benannt, empirische Forschungsmethoden anzuwenden, die Ergebnisse auszuwerten und in geeigneter Form darzustellen (Kultusministerkonferenz 2013e, S. 24). Demgegenüber stehen die Teilkompetenzen Fragestellung formulieren, Hypothese generieren und Planung eines Experiments, die primär naturwissenschaftlichen Kompetenzstrukturen unterliegen. SEIDEL ET AL. (2007) benennen zudem die Anwendung der Methode im Unterricht, bei der jedoch oftmals die Auswertung von Ergebnissen im Fokus steht und zugleich die Entwicklung von naturwissenschaftlichen Fragestellungen sowie eigenständigen Planungen vernachlässigt werden.

Effekte hinsichtlich der Schulform lassen sich belegen. Schülerinnen und Schüler der Hauptschule erreichen einen signifikant niedrigen Kompetenzgrad in der Methode des Experimentierens. Zwischen Hauptschule und IGS wird eine Differenz von 1,27 Punkten im Mittel und einem Signifikanzwert von $p < 0,001$ ermittelt. Die Differenz zwischen Hauptschule und Realschule mit 1,26 Punkten ($p < 0,001$) unterscheidet sich nur marginal zur IGS. Die schlechten Befunde von Hauptschülern wurden bereits in den PISA-Studien belegt (PISA-KONSORTIUM 2000; PISA-KONSORTIUM 2003; PISA-KONSORTIUM 2006; PISA-KONSORTIUM 2009), auch wenn die naturwissenschaftlichen Teilkompetenzen der PISA-Erhebungen nicht mit den in der vorliegenden Studie verwendeten identisch sind. GRUBE (2010) weist den Schülerinnen und Schülern der Hauptschule ebenfalls große Leistungsunterschiede bezüglich des Kompetenzstandes im Vergleich zu Realschülern und Probanden des Gymnasiums zu. Weiterhin erzielen Realschüler sowie Schülerinnen und Schüler des Gymnasiums im Längsschnitt signifikante Leistungszuwächse, die bei den Probanden der Hauptschule nicht nachgewiesen werden (GRUBE 2010, S. 82). Die vielfältig vorliegenden Befunde der Hauptschüler verdeutlichen den besonderen Förderbedarf dieser Lerngruppen. Dabei müssen sozioökonomische Aspekte berücksichtigt werden. Die Benachteiligung der Schülerinnen und Schüler aus sozial niederen Schichten sowie die Relevanz des Migrationshintergrundes (31,8 Prozent der Schülerinnen und Schüler mit Migrationshintergrund besuchen die Hauptschule) scheinen weiterhin Einflussgrößen zu sein (SOLGA, DOMBROWSKI 2009, S. 13 ff.). Die Ergebnisse der PISA-Studien zeigen ebenfalls Zusammenhänge zwischen den naturwissenschaftlichen Kompetenzen und einem Migrationshintergrund (PISA-KONSORTIUM 2006, S. 368). Allerdings werden weitere, nicht bekannte Bedingungsfaktoren vermutet, die auch in der vorliegenden Arbeit Relevanz haben können. Zielführende Untersuchungen sollten sich in einem späteren Vorhaben anschließen.

Hinsichtlich der Experimentierkompetenz erreichen die Schülerinnen einen nicht signifikant höheren Kompetenzstand von 0,16 Punkten im Mittel ($p = 0,07$). Auch in der PISA-Studie 2009 werden ähnliche Ergebnisse deutlich, die bereits in den vorausgegangenen Erhebungsphasen belegt wurden. Die männlichen Probanden weisen in den PISA-Studien eine

größere Streuung auf, was im Mittel zu relativierten Werten führt. Demnach ist in der naturwissenschaftlichen Kompetenz der Kompetenzunterschied zwischen männlichen und weiblichen Probanden nur schwach ausgebildet (KLIEME ET AL. 2010, S. 187). Auch GRUBE (2010) kann keinen Zusammenhang zwischen dem Geschlecht und der Experimentierkompetenz nachweisen.

Insgesamt muss jedoch die Gewichtung in den Teilkompetenzen Fragestellung formulieren und Planung eines Experiments berücksichtigt werden, die ein höheres Anspruchsniveau in den Kompetenzen Hypothesen generieren und Daten auswerten vermuten lassen, da dort zwei Antworten richtig beantwortet werden mussten, um das volle Kompetenzniveau erreichen zu können. Zugleich werden dadurch differenzierte und detaillierte Analysen ermöglicht, die in den Teilkompetenzen Fragestellung formulieren und Planung eines Experiment durch Gewichtung ausgeglichen werden mussten. Dennoch lassen die Ergebnisse, auch hinsichtlich der Pilotierungsphase, auf die Aussagekräftigkeit des Messinstruments schließen.

7.1.2 Fachwissen

Im Fachwissenstest erreichen die Schülerinnen und Schüler der Jahrgangsstufen 7 mit 2,11 Punkten im Mittel (SD 1,30) und der Stufe 9 mit 2,38 Punkten im Mittel (SD 1,48) das höchste Niveau. Die Probanden der Klassenstufe 9 erreichten mit einer Differenz von 0,27 Punkten einen höheren Mittelwert ohne signifikante Relevanz. Unterschiede zum Experimentierkompetenztest werden deutlich, wonach dort die Probanden der Klassenstufe 7 gegenüber den Schülerinnen und Schüler der Jahrgangsstufe 9 das höchste Niveau erreichen. Im Fachwissenstest erreichen die Schülerinnen und Schüler der Jahrgangsstufe 9 den höchsten Wert. Dennoch steigt das Fachwissen von Jahrgang 5 zu 9 (7/9 nicht signifikant) mit Ausnahme der Klassenstufe 8 kontinuierlich an.

Der Anstieg des Fachwissens liegt darin begründet, dass die Themen des Fachwissenstests keine im Lehrplan enthaltene Einheit darstellen. Inhalte verschiedener Themengebiete (z. B. Aralsee, Boden, Totes Meer) werden erhoben, die in der Summe in den höheren Jahrgängen verstärkt bekannt sein sollten. Zudem wird in den Jahrgängen 7 und 8 der Realschule in Hessen Erdkunde nicht unterrichtet, wohingegen im Jahrgang 9 das Fach mit einer Unterrichtsstunde in der Woche gelehrt wird.

7.1.3 Korrelation der Schulnoten, Experimentierkompetenz und Fachwissen

Ein mittlerer Zusammenhang (Spearman $\rho = 0,4$) zwischen der Experimentierkompetenz und dem Fachwissenstest ist nachweisbar. Wie auch bei HOF (2011) wird demnach ein Unterschied zwischen der Experimentierkompetenz und dem Fachwissen deutlich, so dass von einem unterschiedlichen Konstrukt ausgegangen werden kann. Auch KLOS ET AL. (2008) bestätigen aus chemiedidaktischer Perspektive, dass chemisches Fachwissen und experimentelle Erkenntnisgewinnung unterschiedliche Kompetenzen sind.

Die inhaltlich-thematische Bedeutung kommt nach HOF (2011) zum Tragen, da die Teilkompetenzen zwar Fachwissen beinhalten, aber nicht ausschließlich durch dieses generiert werden können. Weitere Fähigkeiten und Fertigkeiten sind notwendig, um die Experimentiermethode kompetent anwenden zu können. Umgekehrt bedeutet der mittlere Zusammenhang eine mögliche höhere Kompetenzentwicklung bei gleichzeitig höherem Fachwissen, da ein hohes Fachwissen die Lernenden besser in die Lage versetzen kann, die Teilkompetenzen des Experimentierens zu entwickeln.

Die kognitive Leistungsfähigkeit der Gesamtstichprobe wird an den Schulnoten der Unterrichtsfächer Biologie und Erdkunde erhoben. Die Korrelation zwischen den Schulnoten und der Experimentierkompetenz sind als schwach (Biologie: Spearman $\rho = -0,2$; Erdkunde: Spearman $\rho = -0,3$) zu bezeichnen. Der negative ρ -Wert ist durch das Notensystem (1 [sehr gut] bis 6 [ungenügend]) zu erklären, in dem die niedrigere Zahl für eine sehr gute Leistung steht. Im Kompetenztest ist dies entgegengesetzt zu interpretieren. Demnach steht eine hohe Punktzahl für eine gute Leistung. Die schwache Korrelation lässt den Rückschluss zu, dass durch die im Unterricht bescheinigte Note nicht notwendigerweise Aussagen über die Experimentierkompetenz gezogen werden können. Schülerinnen und Schüler, die eine schlechte Biologienote haben, können eine hohe Experimentierkompetenz erreichen. Umgekehrt bedeutet eine gute Schulnote nicht zwangsläufig eine hohe Experimentierkompetenz. Auch GRUBE (2010) und HOF (2011) bestätigen nur schwache Effekte zwischen der Schulnote (Biologie) und der Experimentierkompetenz.

7.1.4 Korrelation der Selbsteinschätzung und des Vorwissenstests

Die Schülerinnen und Schüler wurden aufgefordert, ihr Können in der Methode des Experimentierens einzuschätzen. Gemessen durch eine fünfstufige Likert-Skala (sehr gut bis sehr schlecht), geben die meisten Probanden ($N = 288$) eine gute Selbsteinschätzung an. In der PISA-Erhebung 2006 wurden das Fähigkeitsselbstkonzept und die Selbstwirksamkeitserwartung erhoben. Die Selbstwirksamkeitserwartung zielt auf die Bewertung der eigenen Fähig-

keit ab. Die Einschätzung der deutschen Schülerinnen und Schüler in ihrer Selbstwirksamkeit in den Naturwissenschaften liegt in der PISA-Evaluierung 2006 ebenfalls leicht über dem OECD-Durchschnitt. Allerdings sollte ein internationaler Vergleich aufgrund interkultureller Unterschiede nicht erfolgen (PISA-KONSORTIUM 2006, S. 134). Die Überprüfung der Methodenkenntnis wurde in der vorliegenden Arbeit durch einen Vorwissenstest durchgeführt, der auf Testfragen zum experimentellen Algorithmus sowie auf weiteren methodischen Aspekten beruhte. Die Testfragen zielen auf für die vorliegende Arbeit entscheidende Inhalte ab, die u. a. im Kontext der Variablen (Planung eines Experiments), der Bedeutung eines naturwissenschaftlichen Experiments (Fragestellung formulieren und Hypothesen generieren) und der Reihenfolge der einzelnen Phasen festgelegt wurden. Die Korrelation (Kendall Tau b – 0,05; $p = 0,16$) zeigt keine Zusammenhänge. Dies lässt erkennen, dass die Probanden ihr Können in der Methode gut einschätzen, zugleich jedoch über breit gestreute, allerdings eher geringe Kenntnisse der experimentellen Erkenntnisprozesse verfügen. Auch EHMER (2008) zeigt, dass Schülerinnen und Schüler der Jahrgangsstufe 6 im gymnasialen Bildungsbereich vor der Intervention im Fach Biologie über ein geringes Methodenwissen in den Bereichen Hypothesen generieren und Planung eines Experiments verfügen. Die Erkenntnisse lassen die Schlussfolgerung zu, dass die Probanden im Fach Geographie über Fehlvorstellungen der Methode verfügen, da ihre gute Selbsteinschätzung nicht mit den geringen Methodenkenntnissen in Einklang zu bringen ist. Eine mögliche Erklärung kann eine Schulbuchprüfung von Geographiebüchern erbringen, nach der knapp 50%, im Einzelfall etwa 13% der als Experiment ausgewiesenen Methoden den Kriterien eines Experiments nicht gerecht werden (LETHMATE 2003, S. 42). Es handelt sich bei den Methoden vielmehr um einfache Beobachtungen oder Untersuchungen (z. B. pH-Wert Messung) (LETHMATE 2003, S. 42). Durch die hier präsentierte fehlerhafte Darbietung des geographischen Experimentes wird ein falsches Verständnis der naturwissenschaftlichen Methode im Geographieunterricht begünstigt. Auch HAMMANN (2004) benennt das Problem der fehlerhaften Schülervorstellungen zur Methode des Experimentierens. Ob diese Erklärung alleine die Diskrepanz zwischen Selbsteinschätzung und Methodenkenntnis plausibel macht, bleibt jedoch offen.

Als Resultat kann aufgezeigt werden, dass eine gezielte Förderung und empirische Überprüfung der naturwissenschaftlichen Methode unter Berücksichtigung der Kriterien eines Experimentes im Geographieunterricht notwendig ist, um die aufgezeigten Kompetenzlücken zu schließen und die Schülerinnen und Schüler zu einem adäquaten Umgang mit geographischen-naturwissenschaftlichen Problemen und Phänomenen zu befähigen. Eine Interventionsstudie wurde konzipiert und durchgeführt, die gezielt die Kompetenzförderung der vier Teilbereiche des Experimentes ermöglichen soll (s. Kap. 7.3).

Die Normierungsstudie hatte zum Ziel, einen allgemeinen Kompetenzstand der Schülerinnen und Schüler zu erheben und neben der Güteüberprüfung des Messinstruments, Einflussfaktoren auf das Kompetenzniveau zu identifizieren. Als Einflussfaktoren können insbesondere das Alter und die Schularten benannt werden, die in der Interventionsstudie berücksichtigt und konstant gehalten werden mussten. Aufgrund der vergleichbaren Ergebnisse wurden die Bildungsgänge Realschule und IGS in der Jahrgangsstufe 6 für die Interventionsstudie gewählt. Weiterhin wurden durch die Normierungsstudie vielfältige Referenzdaten erhoben, die spätere Evaluierungen erleichtern werden und rückblickende Analysen der Kompetenzentwicklung ermöglichen. Die in der Normierung erhobenen Ergebnisse entsprechen weitestgehend den Resultaten vergleichbarer Untersuchungen vorausgegangener Studien zur Experimentierkompetenz (z. B. EHMER 2010; KLIEME ET AL. 2010; HOF 2011), so dass das Messinstrument als geeignet bezeichnet werden kann.

7.2 Kontrolle der Störvariablen (Interventionsstudie)

Die Kontrolle der Störfaktoren wurde auf Grundlage von BORTZ und DÖRING (2006) sowie HELMKE (2006) konzipiert. Die Eingangsvoraussetzungen, gemessen an den Kompetenzen der beteiligten Lerngruppen im Pretest, weisen nur leichte Abweichungen auf. Die statistische Überprüfung der Treatmentgruppen, unterteilt in Versuchs- und Vergleichsgruppen, belegt keine signifikanten Unterschiede ($p = 0,58$). Demnach kann von gleichen Kompetenzvoraussetzungen der Gruppen ausgegangen werden.

Die Überprüfung des Schularteneffekts belegt in der vorliegenden Studie für die Jahrgangsstufe 6 keine signifikanten Unterschiede zwischen Schülerinnen und Schülern der Realschule und IGS ($p = 0,99$). In den Ergebnissen der PISA-Erhebungen werden diesbezüglich andere Befunde deutlich. In den PISA-Erhebungen werden Unterschiede zwischen den Probanden der Realschule und IGS belegt, bei denen die Schülerinnen und Schüler der Gesamtschule schlechtere naturwissenschaftliche Kompetenzen aufweisen. Eine mögliche Erklärung dieser verschiedenen Befunde könnte zum einen im Alter (Jahrgangsstufe) der teilnehmenden Lernenden liegen. So wird in dieser Studie das Alter der Probanden anhand des Jahrgangs 6, die im Mittel im Pretest 12,02 Jahre alt sind, konstant gehalten. In den PISA-Erhebungen werden hingegen 15-jährige Schülerinnen und Schüler (etwa Jahrgangsstufe 9) befragt, so dass ein Einfluss des Alters auf die unterschiedlichen Ergebnisse nicht ausgeschlossen werden kann. Demgegenüber zeigt GRUBE (2010), dass das Alter keinen Effekt auf die mit der Zeit ansteigende Kompetenzentwicklung hat. Ein weiterer möglicher Einflussfaktor ist die soziale Herkunft. Demnach werden in den PISA-Ergebnissen 2006 insbesondere die Stadtstaaten Hamburg und Berlin aufgeführt, in denen ein deutlicher Zusammenhang zwischen Herkunft und Kompetenzniveau festgestellt wurde (PISA-KONSORTIUM 2006, S.

26). An der vorliegenden Interventionsstudie konnten keine Schulen aus Großstädten teilnehmen, so dass die soziodemographischen Komponenten der an der Intervention beteiligten Gesamtschule im Vergleich zu den PISA-Erhebungen das Ergebnis positiv beeinflusst haben könnten.

Der Einfluss auf den Kompetenzgrad durch die Lehrkraft der Lerngruppen wurde auf Effekte untersucht, indem alle an der Intervention beteiligten Lerngruppen einzelner Lehrkräfte auf signifikante Unterschiede im Kompetenzniveau untersucht wurden. Da nur zwei der neun beteiligten Lerngruppen von der gleichen Lehrperson unterrichtet wurden, konnte eine breite Varianz hinsichtlich des Faktors Lehrer erzielt werden. Die Signifikanzanalyse ergab keine statistisch relevanten Unterschiede (ANOVA $p = 0,13$). Ein Einfluss der Lehrperson auf die Ergebnisse im Pretest wird ausgeschlossen.

Die Gestaltung der Intervention (Versuchs- und Vergleichsgruppe) wurde im Vorfeld durch die Konzeption (Vorgespräche, Materialmappe, Materialien, Anleitung) auf einem möglichst hohen standardisierten Niveau gehalten. Die Bedingungen der Unterrichtsqualität sowie des Lernumfelds wurden bereits dargestellt (s. Kap. 4.3.2 & 6.2).

Zusammenfassend wird festgehalten, dass möglichen Störvariablen, bestehend aus Eingangsvoraussetzungen, Jahrgangsstufe, Treatmentgruppen und Lehrpersonen, keine signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden können. Demnach wird diesbezüglich von gleichen Voraussetzungen im Pretest ausgegangen. Die Bedingungen Unterrichtsqualität und Lernumgebung wurden im Vorfeld durch ein möglichst hohes Maß kontrolliert. Dabei wird die Unterrichtsqualität insbesondere durch Instruktionen sowie die Qualität des Lehr-Lernmaterials kontrolliert. Detaillierte Materialien (Einstiegfolien, Arbeitsblätter, Lösungsvorschläge) und sequenzierte Anleitungen (zeitliche Vorgaben) erhöhen das standardisierte Vorgehen der beteiligten Personen. Allerdings muss offen bleiben, inwiefern die Lernumgebung, gemessen an z.B. soziodemographischen Aspekten oder Klassenklima, das Lernen beeinflusst. Mögliche Einflussfaktoren können nur vermutet werden. Da in den Ergebnissen des Pretests in den Störvariablen Eingangsvoraussetzungen, Jahrgangsstufe, Treatmentgruppen und Lehrperson keine statistischen Auffälligkeiten belegt wurden, wird von gleichen Ausgangsvoraussetzungen in der Interventionsstudie ausgegangen. Die Ergebnisse der Hauptstudie werden im Folgenden detaillierter diskutiert.

7.3 Interventionsstudie

Wie bereits von WEINERT (2001) als Reaktion auf die schlechten Ergebnisse deutscher Schülerinnen und Schüler in der PISA-Erhebung 2000 gefordert, sollten Lernentwicklungen überprüft und empirisch belegt werden. Auch wenn positive Entwicklungen der naturwissenschaftlichen Kompetenzen in den Folgerhebungen deutlich wurden, zeigt die breite Streu-

ung einen besonderen Förderbedarf bei Schülerinnen und Schülern des nichtgymnasialen Bildungsganges, so dass Lernende niedrigerer Bildungsgänge primär in den Fokus der vorliegenden Studie rücken. Eine gezielte Kompetenzförderung des mittleren und unteren Leistungsbereichs wird auch im Zuge der PISA-Ergebnisse 2009 gefordert, um die Schere der Kompetenzstreuung weiter zu schließen. Als Beispiele gehen dabei Spitzenreiter wie Finnland voran (PISA-KONSORTIUM 2009). Gerade problemorientierte Lernumgebungen werden als notwendige Voraussetzung benannt, um naturwissenschaftliche Kompetenzen entwickeln zu können. Daher soll durch die Interventionsstudie die Überprüfung der Effektivität der Kompetenzförderung, basierend auf dem problemlösenden Unterrichtsansatz, ermöglicht werden.

7.3.1 Entwicklung der Experimentierkompetenz (Pretest-/Posttest-Vergleich)

Die erste Forschungsfrage richtet sich nach dem unterschiedlichen Kompetenzzuwachs der Schülerinnen und Schüler, die entweder mit dem problemlösenden Ansatz (Versuchsgruppe) oder dem fragend-gelenkten Ansatz (Vergleichsgruppe) unterrichtet wurden. In der ersten Hypothese wird die Vermutung gestellt, dass die Schülerinnen und Schüler der Versuchsgruppe einen höheren Kompetenzzuwachs in der Methode des Experimentierens verzeichnen.

Fragestellung 1: Zeigen die mit dem problemlösenden Ansatz unterrichteten Schülerinnen und Schüler (Versuchsgruppe) einen höheren Kompetenzzuwachs als die Probanden, die im fragend-gelenkten Ansatz (Vergleichsgruppe) unterrichtet werden?

Hypothese 1: Mit dem Ansatz des problemlösenden Lernens erreichen die Schülerinnen und Schüler der Versuchsgruppe ein höheres Kompetenzniveau (positiver Effekt) in der Methode des Experimentierens als die Probanden der Vergleichsgruppe.

Ausgehend von einer gleichen Ausgangslage im Pretest, zeigen die Schülerinnen und Schüler der Versuchsgruppe insgesamt einen positiven Effekt zum Posttest hinsichtlich der Kompetenzentwicklung in der Methode des Experimentierens. Damit kann festgehalten werden, dass die Schülerinnen und Schüler der Versuchsgruppe, die mit dem problemlösenden Ansatz unterrichtet wurden, einen deutlichen Kompetenzzuwachs in der Methode des Experimentierens entwickeln konnten. Dieser unterscheidet sich zudem eindeutig von den Probanden der Vergleichsgruppe, die mit dem fragend-gelenkten Unterrichtsansatz unterrichtet wurden. Dabei wird eine starke Kompetenzentwicklung der Versuchsgruppe zum zweiten Messzeitpunkt deutlich. Die Kompetenzzunahme der Versuchsgruppe mit 9,05 Punkten übersteigt dort die Kompetenzentwicklung der Vergleichsgruppe mit 1,7 Punkten unverkennbar. Die statistische Überprüfung der Unterschiede der Kompetenzentwicklung vom Pre-

zum Posttest ergibt für die Gruppen (Versuchs- und Vergleichsgruppe) signifikante Unterschiede ($p < 0,001$). Demnach konnten die Schülerinnen und Schüler der Versuchsgruppe kurzzeitig eine sehr hohe Kompetenzzunahme im Vergleich zur Kontrollgruppe erlangen. Hypothese 1 kann somit bestätigt werden.

Als Fazit kann die Effektivität des Ansatzes deutlich aufgezeigt werden. Die Gruppen (Versuchs- und Vergleichsgruppen) wurden in der gleichen zeitlichen Dimension mit weitestgehend analogen fachlichen Inhalten unterrichtet. Dabei ist anzumerken, dass die Schülerinnen und Schüler der Versuchsgruppe mit einem umfangreicheren fachlichen Inhalt unterrichtet werden mussten. Die thematischen Schwerpunkte wurden identisch konzipiert; um jedoch die gleiche zeitliche Dimension der Vergleichs- und Versuchsgruppe gewährleisten zu können, wurden z.B. topographische Aspekte in der Vergleichsgruppenkonzeption der Unterrichtseinheit ausgeweitet. Unter dem Gesichtspunkt, die Unterrichtskonzeptionen auf einem möglichst hohen Maximum der standardisierten Bedingungen zu halten, erlangen die Probanden der Versuchsgruppe ein deutlich höheres Kompetenzniveau in der Experimentiermethode als die Schülerinnen und Schüler der Vergleichsgruppe.

Die PISA-Ergebnisse 2009 bestätigten insbesondere den Realschülern sowie Schülerinnen und Schüler der IGS eine gestiegene, jedoch nur mittelmäßige naturwissenschaftliche Kompetenz, gemessen am Mittelwert (KLIEME ET AL. 2010, S. 190). Die vorliegenden Ergebnisse zeigen jedoch, dass Lernende der genannten Schularten deutliche Kompetenzentwicklungen in der Methode bei entsprechender Förderung erlangen können. Eine mögliche Erklärung bietet die Annahme, dass in den Bildungsgängen der Realschule und IGS die naturwissenschaftliche Kompetenzförderung gemäß den Forderungen der PISA-Konsortien in einem zu geringen Umfang erfolgte. Die Entwicklung der Schülerinnen und Schüler des gymnasialen Bildungsgänge von 578 Punkten im Mittel im Jahr 2000 zu 602 Punkten im Jahr 2009 lässt zum einen eine bereits hohe Ausgangskompetenz und zum anderen gezielte Förderung seit 2000 erkennen. In den PISA-Ergebnissen 2009 wird deutlich, dass nicht nur eine breite Streuung zwischen den Bildungsgängen, sondern auch innerhalb dieser belegt wurde (KLIEME ET AL. 2010, S. 190). Demnach wird bereits in den PISA-Erhebungen ebenso wie in den vorliegenden Ergebnissen deutlich, dass die naturwissenschaftliche Kompetenzentwicklung durch gezielte Förderung in den Bildungsgängen Realschule und IGS zu einem hohen Kompetenzgrad führt. Auch sprechen Ergebnisse der PISA-Spitzenreiter wie Finnland dafür, dass die Förderung naturwissenschaftlicher Kompetenzen bei Schülerinnen und Schülern verschiedener, auch niedrigerer Leistungsniveaus möglich ist. In Finnland wird eine unterdurchschnittliche Streuung (Finnland SD = 89 Punkte; OECD-Mittel SD = 94 Punkte) bei zugleich höchstem Rangwert (MW = 554) belegt (KLIEME ET AL. 2010, S. 185).

Eine weitere Erklärungsmöglichkeit kann in der fehlerhaften Methodenvorstellung der Lehrkräfte liegen. Diese wird bei GÜNTHER (2006) und EHMER (2008) benannt. Haben die Lehrkräfte Fehlvorstellungen über die naturwissenschaftliche Methode, wird diese an die Schülerinnen und Schüler weitergegeben. Die Problematik wird durch die bereits erwähnte Fehldarstellung des geographischen Experimentes in Schulbüchern verstärkt. Auch die seltene Durchführung der Methode im Geographieunterricht stellt ein Problem dar (HEMMER, HEMMER 2010, S. 65 ff.). Die Lehrplananalyse des Landes Hessens verdeutlicht, dass naturgeographische Themen und Methoden eine verminderte Rolle gegenüber anthropogeographischen Inhalten einnehmen. Im hessischen Lehrplan wurde die Experimentiermethode nicht aufgeführt (ein Hinweis zu Konvektionsversuchen lag vor) und fand erst im Zuge der 2007 neu konzipierten und 2012 verpflichtenden Bildungsstandards Berücksichtigung (DGFG 2007, S. 20; KULTUSMINISTERKONFERENZ 2013b). Daher kann vermutet werden, dass die Experimentiermethode im Geographieunterricht seltener angewendet wurde oder nicht auf die geforderte Kompetenzförderung im Sinne eines naturwissenschaftlichen Experimentes abzielte. Dabei zeigen die Ergebnisse der Studie im Bereich der ersten Forschungsfrage, dass durch den Ansatz des problemlösenden Lernens die geographische Experimentierkompetenz deutlich gesteigert werden kann, im Zuge dessen Problemlösestrategien entwickelt und gefördert wurden und die Effektivität des naturwissenschaftlichen Ansatzes im Geographieunterricht belegt werden konnte.

7.3.2 Langzeiteffekt Experimentierkompetenz (Pretest-/Follow-Up-Vergleich)

In der dritten Hypothese wird der Langzeiteffekt der Kompetenzzunahme der Experimentierkompetenz untersucht. Es wurde von einem positiven Langzeiteffekt hinsichtlich der Experimentierkompetenz ausgegangen.

Hypothese 1.1: Der positive Effekt des Kompetenzniveaus der Versuchsgruppe ist langfristig wirksam.

In der Betrachtung der gesamten Experimentierkompetenz konnten die Schülerinnen und Schüler der Versuchsgruppe einen signifikant höheren Kompetenzerwerb vom ersten Messzeitpunkt (Pretest) zum dritten Messzeitpunkt (Follow-Up) mit einem Zuwachs um 3,1 Punkte im Mittel verzeichnen, so dass, wenn auch im geringeren Maße, im Vergleich zur Posttesterhebung der Effekt auf lange Sicht positiv wirkt. Dies steht im Kontrast zu den Schülerinnen und Schülern der Vergleichsgruppe, die mit einer Kompetenzzunahme um 1,53 Punkte im Mittel vom ersten zum dritten Messzeitpunkt eine deutlich geringere Kompetenzentwicklung verzeichnen können. Die Entwicklung beider Gruppen verläuft vom ersten zum dritten Messzeitpunkt ($p = 0,01$) signifikant unterschiedlich. Hypothese 1.1 wird noch bestätigt.

Die Annahme von KIRSCHNER ET AL. (2006), dass die Kompetenzförderung zu einem geringeren Lernzuwachs führt, kann demnach nicht bestätigt werden.

Eine Abnahme vom zweiten zum dritten Messzeitpunkt wird deutlich, die auch bei WALPUSKI (2006) in einer chemiedidaktischen Interventionsstudie hinsichtlich kooperativen Arbeitens und Inquiry-Aufgaben mit Pre-, Post- und Follow-Up-Vergleichen im Fachwissenstest zu verzeichnen ist, dort jedoch geringere Wissensabnahmen aufzeigt. Demnach werden Leistungsabnahmen deutlich, die im hier untersuchten methodischen Erkenntnisgewinn stärker nachgewiesen wurden. Weiterhin belegt HOF (2011) keine Abnahme im naturwissenschaftlichen Kompetenzerwerb. Steigerungen vom Pretest zum Posttest sowie zur Follow-Up-Erhebung sind erkennbar. Der Einfluss der beteiligten Schularten kann eine Erklärungsmöglichkeit bieten. In der Interventionsstudie von HOF (2011) waren Schülerinnen und Schüler des gymnasialen Bildungsgangs an der Intervention beteiligt. Die hier intervenierten Probanden der Realschule und IGS zeigen eine Kompetenzabnahme zur Follow-Up-Erhebung. Als Resultat wird ein positiver Effekt der Intervention auf die Experimentierkompetenz belegt, so dass Kompetenzen erworben wurden, die zum Teil noch nach zwei Monaten vorhanden waren. Die Abnahme zum dritten Messzeitpunkt verdeutlicht zugleich, dass eine einmalige Intervention der komplexen methodischen Inhalte des Experimentierens bei Schülerinnen und Schülern der Realschule und IGS zwar eine Basis schafft, die durch weitere Förderungen im Sinne eines Spiralmodells mit ansteigendem Öffnungsgrad und Anspruchsniveau zu einer effizienteren und langfristigen Kompetenzentwicklung führen kann.

Die Frage, ob der Kompetenzgrad bei fortschreitender Zeit (z. B. 6 Monate später) weiter abnimmt oder es zu einem konstanten Wert nach zwei Monaten gekommen ist, muss an dieser Stelle offen bleiben. Der mögliche Einfluss einzelner Teilkompetenzen auf das Gesamtergebnis wird in einem späteren Kapitel diskutiert.

7.3.3 Entwicklung der Teilkompetenzen des Experimentierens (Pretest-/Posttest-Vergleich)

Die breite Diskussion der Kompetenzbereiche des Experimentierens, die primär zwischen drei (Hypothesen generieren, Planung eines Experiments, Daten auswerten) und vier (Fragestellung formulieren, Hypothesen generieren, Planung eines Experiments, Daten auswerten) Teilkompetenzen differenziert (z. B. DUNBAR, KLAHR 1998; HAMMANN 2004; WALPUSKI ET AL. 2008; MAYER ET AL. 2009; OTTO ET. AL 2010), erfordert eine detaillierte Analyse der Experimentierkompetenz. Entsprechend der theoretischen Grundlage wurden vier Teilkompetenzen identifiziert, die im Folgenden detailliert betrachtet werden. Ausgehend von Hypothese 1, wurde eine erhöhte Kompetenzentwicklung bei den Probanden der Versuchsgruppe in allen vier Teilkompetenzen erwartet.

Hypothese 1.2: Mit dem Ansatz des problemlösenden Lernens erreichen die Schülerinnen und Schüler der Versuchsgruppe ein höheres Kompetenzniveau (positiver Effekt) in allen vier Teilkompetenzen des Experimentierens als die Probanden der Vergleichsgruppe.

Der positive Effekt der gesamten Experimentierkompetenz differenziert sich innerhalb der einzelnen Teilkompetenzen. So belegen die Ergebnisse der Teilkompetenz Fragestellung formulieren einen kurzfristigen positiven Effekt vom Pretest zum Posttest für die Versuchsgruppe. Ausgehend von 1,33 Punkten im Mittel der Versuchsgruppe und 1,13 hinsichtlich der Vergleichsgruppe ohne signifikante Unterschiede zwischen beiden Gruppen ($p = 0,84$), erreichen die Schülerinnen und Schüler der Versuchsgruppe im Posttest 4,20 Punkte und damit eine Zunahme von 2,87 Punkten im Mittel. Demgegenüber erreichten die Probanden der Vergleichsgruppe zum zweiten Messzeitpunkt 1,92 Punkte und somit eine Kompetenzzunahme um 0,79 Punkte im Mittel. Die Entwicklung der Gruppen unterscheidet sich signifikant ($p < 0,001$).

In der Teilkompetenz Hypothesen generieren wird ein positiver Effekt der Versuchsgruppe belegt. Deutlich werden positive Effekte durch signifikante Unterschiede in der Entwicklung der beiden Gruppen ($p < 0,001$) vom ersten zum zweiten Messzeitpunkt, bei der eine Kompetenzsteigerung der Versuchsgruppe von 2,55 Punkte im Mittel und der Vergleichsgruppe um 0,04 Punkte vom Pretest zum Posttest belegt wurde.

Die Schülerinnen und Schüler beider Treatmentgruppen zeigten im Pretest der Teilkompetenz Experiment planen vergleichbare Ausgangssituationen. Nach der Intervention unterscheiden sich die Entwicklungen der Gruppen vom ersten zum zweiten Messzeitpunkt signifikant voneinander. Die Kompetenzzunahme der Versuchsgruppe steigt um 2,55 Punkte im Mittel. Demgegenüber steht die Vergleichsgruppe, die eine leichte Abnahme der Kompetenzen um 0,21 Punkte im Mittel zu verzeichnen hat. Die Entwicklung der Gruppen zum Messzeitpunkt 2 in der Teilkompetenz Experiment planen ist signifikant unterschiedlich ($p < 0,001$) mit positiven Effekten für die Versuchsgruppe.

In den ersten drei Teilkompetenzen der Methode werden deutliche Effekte einer höheren Kompetenzentwicklung für die Versuchsgruppe belegt. Die Ergebnisse entsprechen weitestgehend den Befunden der gesamten Experimentierkompetenz. In der Teilkompetenz Fragestellung formulieren erreichten die Probanden der Versuchsgruppe eine leicht höhere Kompetenzzunahme. Die Kompetenzentwicklung in den Bereichen Hypothesen generieren und Planung eines Experiments ist hingegen identisch (2,55 Punkte im Mittel). Die Unterschiede zur Teilkompetenz Fragestellung formulieren sind mit einer Differenz von 0,32 Punkten sehr gering und können vernachlässigt werden. Allerdings stellt GRUBE (2010) in ihrer Längsschnittstudie im Jahrgang 6 in der Teilkompetenz Fragestellung signifikante Entwicklungen

fest, die in den Bereichen Hypothesen generieren und Planung eines Experiments nicht belegt werden. Insgesamt werden in der Teilkompetenz Fragestellung formulieren minimale, statistisch nicht belegte Vorteile deutlich.

Auch die Versuchsgruppe erreichte in der Teilkompetenz Fragestellung formulieren den höchsten Kompetenzzuwachs, im Bereich Planung eines Experiments hingegen eine Negativentwicklung, die in ähnlichen Befunden auch bei GRUBE (2010) im Längsschnitt belegt werden.

In der Teilkompetenz Daten auswerten kann insgesamt kein positiver Effekt in der Entwicklung der Versuchsgruppe verzeichnet werden. Ausgehend von einem unterschiedlichen Leistungsstand im Pretest ($p = 0,006$), bei dem die Versuchsgruppe über ein höheres Kompetenzniveau von 0,93 Punkten verfügt, verläuft die Kompetenzentwicklung zwischen beiden Gruppen zum zweiten Messzeitpunkt nicht signifikant unterschiedlich ($p = 0,33$). Die Versuchsgruppe erreicht eine Kompetenzsteigerung von 1,03 Punkten im Mittel und die Vergleichsgruppe von 1 Punkt.

In der Teilkompetenz Daten auswerten wurde ein hohes Ausgangsniveau der Versuchsgruppe mit 4,22 von 6 Punkten im Mittel aufgezeigt. Diese hohe Kompetenz wird auch in der Studie von GRUBE (2010) aufgezeigt. Die Schülerinnen und Schüler erreichen dort in allen Jahrgangsstufen (5 bis 10) sowie in der Analyse der Gesamtstichprobe in der Teilkompetenz Daten auswerten (Deutung) den höchsten Kompetenzstand (GRUBE 2010, S. 62 f.). Weiterhin wird für diese als einzige der vier Teilkompetenzen keine Leistungszunahme, sondern eine -abnahme über ein Schuljahr belegt (GRUBE 2010, S. 81). Die in dieser Studie nachgewiesene Auffälligkeit der Teilkompetenz Daten auswerten wurde somit auch in vergleichbaren Studien deutlich. Andere Studien belegen einen solchen Effekt nicht. Im Pre-/Postvergleich der Studie von HOF (2011) erreicht die Experimentalgruppe I (offene Experimentiergruppe) gegenüber der Kontrollgruppe einen signifikant höheren Kompetenzerwerb in der Teilkompetenz Daten auswerten.

Hier muss ein Deckeneffekt zur Diskussion gestellt werden. Die hohe Ausgangskompetenz, die mit einem deutlich geringeren Grad (3,40 von 6 möglichen Punkten) bereits in der Normierungsstudie erkennbar war, konnte in der Jahrgangsstufe 6 der Versuchsgruppe mit 4,22 Punkten bei einer Zunahme von 0,82 Punkten zur Gesamtstichprobe der Normierungsstudie deutlich gesteigert werden (Versuchsgruppe 3,29 Punkte im Pretest). Dieser unerwartet hohe Ausgangswert im Pretest der Versuchsgruppe hatte wahrscheinlich einen Decken- oder Ceiling-Effekt zur Folge, so dass die hohen Messwerte der Probanden nicht mehr verändert bzw. gesteigert werden konnten (BORTZ, DÖRING 2006, S. 558).

Insgesamt bestehen signifikante Unterschiede zwischen der Entwicklung der beiden Treatmentgruppen mit positiven Effekten für die Versuchsgruppe in den Teilkompetenzen a) Fragestellung formulieren, b) Hypothesen generieren, c) Experiment planen. Für die Teilkompetenz d) Daten auswerten wird dieser Effekt nicht bestätigt. Hypothese 1.2 kann deshalb nur teilweise bestätigt werden.

Der Vergleich der Gruppen belegt, dass eine gezielte methodische Förderung signifikante Effekte auf die Entwicklung der naturwissenschaftlichen Kompetenz in den Bereichen Fragestellung formulieren, Hypothesen generieren und Planung eines Experiments hatte. Demnach bedarf es gezielter und spezifischer Förderung, um die Methodenkompetenz bei Schülerinnen und Schülern entwickeln zu können. Dies steht im Gegensatz zu den Ergebnissen von EHMER (2008), in denen die Probanden der Experimentalgruppe durch methodische Intervention in der Teilkompetenz Hypothesen identifizieren im Vergleich zur Kontrollgruppe kein höheres Kompetenzniveau erreichten. EHMER (2008) führt zur Erklärung die allgemeinen logischen Denkfähigkeiten auf, die zum Identifizieren der Hypothesen ausreichen können. In der vorliegenden Studie wird dieser Effekt nicht belegt, so dass davon ausgegangen werden kann, dass zur Entwicklung der geographischen Hypothesengenerierung spezifische methodische Kenntnisse gefördert werden müssen, die durch rein logisches Denkvermögen nicht kompensiert werden können. Im Bereich Daten auswerten bleibt dies fraglich, da auch die Probanden der Vergleichsgruppe deutliche Kompetenzentwicklungen ohne methodische Intervention entwickeln konnten. HAMMANN ET AL. (2007a) vermutet für den Kompetenzbereich Analyse von Daten (Daten auswerten), dass insbesondere inhaltliches Wissen notwendig sei und weniger methodisches. Dies könnte Erklärungsoptionen für die niedrige Kompetenzentwicklung der Versuchsgruppe bieten, da die Probanden der Vergleichsgruppe durch den inhaltlichen Wissenszuwachs ihre Kompetenz im Bereich Daten auswerten gleichwertig gegenüber den Probanden der Versuchsgruppe fördern konnten. Demnach scheint die Annahme, dass diese Teilkompetenz primär auf inhaltlichem Wissen beruht, gestärkt worden zu sein. Aufgrund von möglichen Deckeneffekten muss dies jedoch vorsichtig interpretiert werden. Folgestudien sollten anschließen.

Es wurde die Möglichkeit in Erwägung gezogen, nur eine der vier Teilkompetenzen in der Studie mit einer höheren Itemanzahl und dadurch detaillierter zu untersuchen. Um eine Gesamtanalyse mit allgemeingültigem Überblick der Erkenntnisse, Möglichkeiten und Grenzen zu erlangen, wurden alle vier Teilkompetenzen der Methode analysiert. Durch die Forschungsergebnisse wird eine spätere, begründete Analyse einzelner Teilkompetenzen ermöglicht, die als ergänzende Studien folgen sollten. So werden Forschungsansätze in allen Teilkompetenzen deutlich. Der Teilbereich Daten auswerten sollte in Folgeuntersuchungen durch breitere Messwerte analysiert werden, um mögliche Deckeneffekte zu vermeiden.

7.3.4 Langzeiteffekt der Kompetenzentwicklung der Teilkompetenzen des Experimentierens (Pretest-/Follow-Up-Vergleich)

Hypothese 1.3: Der positive Effekt des Kompetenzniveaus der Versuchsgruppe ist in allen vier Teilkompetenzen langfristig wirksam.

In den einzelnen Teilkompetenzen Methode spiegelt sich der bereits analysierte Effekt der Langzeitwirkung wider, differenzierte Ergebnisse innerhalb der Teilbereiche werden allerdings auch dort deutlich.

In der Kompetenz Fragestellung formulieren kann in der Langzeitwirkung kein signifikant positiver Effekt der Experimentierkompetenz bestätigt werden. Vom ersten (Pretest) zum dritten (Follow-Up) Zeitpunkt verzeichnen beide Gruppen (Versuchs- und Vergleichsgruppe) eine Kompetenzzunahme (Versuchsgruppe + 1,05 Punkte; Vergleichsgruppe + 0,75 Punkte), die bei den Probanden der Versuchsgruppe insgesamt leicht höher ausfällt. Allerdings werden keine signifikanten Unterschiede in der Kompetenzentwicklung zwischen den Gruppen deutlich ($p = 0,39$).

In der Teilkompetenz Hypothesen generieren wird ein leichter positiver Langzeiteffekt belegt. Erreichen die Probanden zunächst einen starken Kompetenzzuwachs, fällt auch dieser zum dritten Messzeitpunkt ab. Dennoch zeigen sich vom ersten zum dritten Messzeitpunkt positive Effekte durch signifikante Unterschiede. Demnach haben die Schülerinnen und Schüler auch langfristig einen Kompetenzzuwachs in der Teilkompetenz Hypothesen generieren gegenüber den Probanden der Vergleichsgruppe verzeichnet, auch wenn dieser im Vergleich zum zweiten Messzeitpunkt geringer ausfällt. Demgegenüber verzeichnen die Probanden der Vergleichsgruppen zum dritten Messzeitpunkt keine Kompetenzsteigerungen, sondern eine geringfügig und nicht signifikante Kompetenzabnahme um -0,04 Punkte, so dass die Versuchsgruppe in der Teilkompetenz Hypothesen generieren einen insgesamt signifikant positiven Effekt gegenüber der Vergleichsgruppe verzeichnet.

Ähnliche Befunde werden in der Teilkompetenz Planung eines Experiments deutlich. Ausgehend von vergleichbaren, nicht signifikant unterschiedlichen Ausgangsleistungen im Pretest ($p = 0,56$), zeigen die Probanden der Versuchsgruppe eine Kompetenzzunahme um 0,96 Punkte im Mittel und die Schülerinnen und Schüler der Vergleichsgruppe eine leichte Kompetenzabnahme von -0,16 Punkten. Signifikante Unterschiede werden durch die Varianzanalyse mit Messwiederholung zwischen den Gruppen belegt ($p = 0,007$), so dass positive Effekte im Kompetenzerwerb für die Probanden der Versuchsgruppe deutlich werden.

In der Teilkompetenz Daten auswerten verzeichnen die Schülerinnen und Schüler der Versuchsgruppe eine Kompetenzzunahme von 0,48 Punkten und die Probanden der Ver-

gleichsgruppe von 0,84 Punkten im Mittel und damit eine leicht, nicht signifikant höhere Kompetenzsteigerung (Varianzanalyse mit Messwiederholung $p = 0,33$). Somit zeigen die Probanden der Versuchsgruppe keine positiven Effekte in der Langzeitwirkung gegenüber den Schülerinnen und Schülern der Vergleichsgruppe.

Eine differenzierte Entwicklung der Teilkompetenzen in der Langzeitwirkung wird deutlich, bei der signifikante Unterschiede mit positiven Effekten für die Versuchsgruppe in den Teilkompetenzen b) Hypothesen generieren und c) Planung belegt werden. Im Kompetenzbereich a) Fragestellung formulieren erreicht die Versuchsgruppe zwar höhere Kompetenzwerte, sie unterscheiden sich aber nicht signifikant von der Kompetenzentwicklung der Vergleichsgruppe. In der Teilkompetenz d) Daten auswerten erreichen die Probanden der Vergleichsgruppe eine leicht, nicht signifikant höhere Kompetenzentwicklung. Hypothese 1.3 kann somit nur teilweise bestätigt werden.

Diskussionsansätze werden besonders in den Teilbereichen a) Fragestellung formulieren und d) Daten auswerten deutlich. Im Bereich d) Daten auswerten kommen auch in der Langzeitwirkung die bereits diskutierten Aspekte des Deckeneffekts zum Tragen (s. Kap. 7.3.3). Die Teilkompetenz a) Fragestellung formulieren zeichnet sich durch eine hohe Kompetenzabnahme zwischen den Messzeitpunkten 2 und 3 (-1,84 Punkte) aus. Erreichten die Probanden der Versuchsgruppe zum Messzeitpunkt 1 einen leicht höheren Kompetenzgrad in der Teilkompetenz Fragestellung, so nimmt dieser zum Messzeitpunkt 3 deutlich ab. In diesem Kontext werden in vergleichbaren Studien besondere Schwierigkeiten benannt. Demnach spricht GRUBE (2010) von einem besonderen Erklärungsbedarf im Zusammenhang mit dem Naturwissenschaftsverständnis. In der geographiedidaktischen Erkenntnisgewinnung wird der Fragestellung eine besondere Bedeutung zugemessen, da von (humangeographischen) Phänomenen (Kontextbezug) ausgehend, „ein spezifisches inhaltlich-thematisches Spektrum“ (OTTO ET AL. 2010, S. 143) vorliegt. Der Erklärungsbedarf scheint im geographiedidaktischen Experiment an Bedeutung zu gewinnen, da insbesondere in der Langzeitwirkung ein geringer Kompetenzerwerb zu verzeichnen ist. Die besondere Schwierigkeit, naturwissenschaftliche Fragestellungen von anderen Fragen zu differenzieren, um einen Kontextbezug zu schaffen, wird hinsichtlich einer langfristigen Kompetenzentwicklung deutlich.

Zugleich zeigt die methodische Intervention positive Langzeiteffekte in der Teilkompetenz c) Planung eines Experiments. HAMMANN ET AL. (2007a) und GRUBE (2010) belegen Schwierigkeiten im Bereich der Teilkompetenz Planung. Diese werden in der vorliegenden Normierungsstudie (s. Abb. 19) bestätigt. HAMMANN ET AL. (2007a) gehen davon aus, dass insbesondere methodisches Wissen für diesen Teilbereich des Experimentes notwendig sei. Die durchgeführte Intervention fokussierte in der Vergleichsgruppe den methodischen Kompetenzerwerb. Diese scheint nicht nur zu positiven Effekten im Pre-/Postvergleich, sondern

auch in der Langzeitwirkung zu führen. Demnach könnte die Annahme, dass die Teilkompetenz Planung eines Experiments primär auf methodischem Wissen beruhe (HAMMANN ET AL. 2007a, S. 45), bestätigt werden.

Die Annahme, dass die Teilkompetenz b) Hypothesen generieren insbesondere durch fachliches Wissen erworben wird (HAMMANN ET AL. 2007a, S. 45; EHMER 2008, S. 132), konnte im Pre-/Postvergleich nicht belegt werden, da die Probanden der Versuchsgruppe signifikant höhere Kompetenzentwicklungen verzeichnet haben. Dieser Befund wird durch den Pre-/Follow-Up-Vergleich gestärkt. Auch langfristig verzeichnen die Probanden der Versuchsgruppe signifikant höhere Kompetenzen als die Schülerinnen und Schüler der Vergleichsgruppe.

Im Pre-, Post- und Follow-Up-Vergleich der Experimentierkompetenzen (Versuchs- und Vergleichsgruppe) erfolgt der Verlauf der Kompetenzentwicklung vom Pretest zum Posttest sowie vom Posttest zur Follow-Up-Erhebung linear aufgrund von statistischen Datensätzen und Darstellungsverfahren (s. Kap. 6.3.1 bis 6.3.4). Ob dieser Verlauf der Kompetenzentwicklungen im vorliegenden Messzeitraum (T1 bis T3) den linearen Darstellungen entspricht, bleibt an dieser Stelle offen.

7.3.5 Effekt der Lernausgangslage auf den Lernzuwachs (Versuchsgruppe)

Die Diskussion um die Benachteiligung leistungsschwächerer Schülerinnen und Schüler, die durch AUSUBEL (1968, 1974) entfacht und von weiteren Autoren gestärkt wurde (SWELLER 1988, 2004; HELLER, HANY 1996; NEBER 1996; SWANSON 1999), steht nun zur Prüfung.

Fragestellung 2: Hat die Lernausgangslage auf die Förderung der Teilkompetenzen des Experimentierens einen Effekt?

Hypothese 2: Beim problemlösenden Lernen mit der Methode des Experimentierens (Versuchsgruppe) zeigen leistungstärkere Schülerinnen und Schüler gegenüber leistungsschwächeren eine erhöhte Kompetenzentwicklung (positive Effekte).

Die Korrelationsuntersuchungen (Kendall Tau b) zeigen Werte im mittleren bis starken Bereich. Das negative Vorzeichen verdeutlicht, dass Zusammenhänge zwischen Schülerinnen und Schülern bestehen, die einen geringeren Kompetenzstand im Pretest erreichten und einen höheren im Posttest bzw. in der Follow-Up-Erhebung. Demnach erreichten leistungsschwächere Lernende in allen vier Teilkompetenzen sowohl vom ersten zum zweiten Messzeitpunkt als auch vom ersten zum dritten Messzeitpunkt signifikant höhere Kompetenzzunahmen. Hypothese 2 wird somit widerlegt.

Ein möglicher Deckeneffekt wird an dieser Stelle deutlich, der Erklärungsoptionen für die geringere Kompetenzsteigerung der leistungsstärkeren Schülerinnen und Schüler bietet. Allerdings ist die alleinige Erklärung durch Deckeneffekte hier zu schwach, da die Korrelationen deutliche Signifikanzen aufzeigen (mittlere bis starke Zusammenhänge), so dass trotz der Berücksichtigung eines Deckeneffekts davon ausgegangen werden kann, dass die leistungsschwächeren Lernenden einen höheren Lernerfolg verzeichnet haben. Auch in der Interventionsstudie von HOF (2011) erreichen leistungsstärkere Lernende durch forschendes Lernen keine höheren Kompetenzsteigerungen gegenüber leistungsschwächeren. Die unterschiedlichen Quellen (AUSUBEL 1968, 1974; HELLER, HANY 1996; NEBER 1996; SWANSON 1999), die für leistungsschwächere Lernende eine höhere Lenkung und Anleitung fordern, können an dieser Stelle allerdings nicht gänzlich entkräftet werden. Vielmehr wurde die Intervention gemäß den Forderungen konzipiert, die Schülerinnen und Schüler vom angeleiteten zum offenen Experimentieren zu fördern. Demnach war insbesondere der Beginn der Unterrichtseinheit durch Anleitung und Vorgabe charakterisiert. Somit wurde den leistungsschwächeren Lernenden durch die schrittweise Öffnung der Methode zu Beginn ausreichend Lenkung geboten, die den konzeptionellen Methodenerwerb ermöglichte. In der Cognitive Load Theory benennt SWELLER (1988, 2004) die Überforderung der Lernenden durch problemlösende, offene Unterrichtsformen. Die Überforderung des Kurzzeitgedächtnisses durch den hohen Verarbeitungsbedarf der Problemlösung führt gerade bei leistungsschwächeren Schülerinnen und Schülern zu einem verminderten Lernerfolg (Fachwissen). In der vorliegenden Studie wurde hingegen der methodische Erkenntnisgewinn hinterfragt (definiert anhand von vier Teildisziplinen des Experimentierens). Entsprechend den Forderungen, die Lernenden in ihrer Problemlösefähigkeit zu fördern, scheint der Ansatz des problemlösenden Lernens insbesondere bei leistungsschwächeren Lernenden zu hohen Erfolgen zu führen. Als Bilanz kann die Effektivität des methodischen Kompetenzerwerbs besonders bei schwächeren Schülerinnen und Schülern aufgezeigt werden. Im Umkehrschluss könnte davon ausgegangen werden, dass leistungsschwächere Lernende Vorteile beim Kompetenzerwerb durch den problemlösenden Unterrichtsansatz zu erwarten haben. Ein möglicher Erklärungsansatz zu SWELLERS Cognitive Load Theory (1988, 2004) könnte darin liegen, dass, wie bereits bei HOF (2011) vermutet, der Zuwachs des Fachwissens primär bei Leistungsschwächeren vermindert wird. Ein verringerter methodischer Erkenntnisgewinn kann in der vorliegenden Studie jedoch nicht belegt werden.

7.3.6 Entwicklung des Fachwissens

Ausgehend von AUSUBELS (1968, 1974) und KIRSCHNERS ET AL. (2006) Kritiken hinsichtlich der Vernachlässigung der Wissensinhalte zugunsten der Methodenkompetenz wurde die dritte Forschungsfrage bezüglich des Aspekts der Wissensinhalte formuliert.

Fragestellung 3: Kann mit dem Ansatz des problemlösenden Lernens neben dem methodischen Erkenntnisgewinn das Fachwissen gefördert werden?

Hypothese 3: Problemlösendes Lernen mit der Methode des Experimentierens (Versuchsgruppe) zeigt positive Effekte beim Zuwachs des Fachwissens.

Die Ergebnisse des Pre-/Postvergleichs zeigen keine signifikanten Unterschiede in der Entwicklung des Fachwissens zwischen den Gruppen (Versuchs- und Vergleichsgruppen). Die Versuchsgruppe verzeichnet einen Wissenszuwachs von 1,75 Punkten im Mittel und die Vergleichsgruppe um 2,05 Punkte, so dass die Vergleichsgruppe einen nicht signifikant höheren Wissenszuwachs um 0,3 Punkte ($p = 0,35$) verzeichnet. Im Vergleich Pretest zu Follow-Up-Erhebung fällt die Differenz mit 0,05 Punkten für die Vergleichsgruppe noch geringer aus ($p = 0,87$). Hypothese 3 wird widerlegt.

Die Widerlegung der Vermutung, dass die Schülerinnen und Schüler der Versuchsgruppe einen höheren Kompetenzzuwachs erreichen, wie es die vergleichbare Studie von HOF (2011) belegt, kann hier nicht bestätigt werden. Dennoch können die Befürchtungen der Kritiker (AUSUBEL 1968, 1974; KIRSCHNER ET AL. 2006), die von einem verminderten Wissenszuwachs durch entdeckende, problemorientierte Ansätze ausgehen, entkräftet werden. Die Versuchsgruppen erzielten in identischen zeitlichen Dimensionen einen nahezu gleichen Fachwissenszuwachs, begleitet von einem signifikant höheren Kompetenzzuwachs in der Experimentiermethode. Demnach erlangten die Probanden der Versuchsgruppe zwar keinen höheren Fachwissenszuwachs, jedoch auch keinen signifikant niedrigeren Lernzuwachs, so dass hinsichtlich des Gesamtkonzepts (Fachwissen und Experimentierkompetenz) höhere Leistungsentwicklungen bei gleicher zeitlicher Durchführung zu verzeichnen sind. Anzumerken ist jedoch, dass nicht der gesamte potenzielle fachliche Rahmen der Interventionseinheit im Fachwissenstest erhoben werden konnte. Eine Erweiterung des Fachwissenstests konnte aufgrund der jungen Teilnehmer im Hinblick auf die Beantwortungsdauer des Leistungstests (gemessen in der Pilotierungsstudie) nicht erfolgen. Hier werden zukünftige Forschungsoptionen aufgezeigt, die eine Intensivierung des Fachwissenstests fokussieren könnten. Durch die Ergebnisse der vorliegenden Studie können Vorteile des problemorientierten Ansatzes gegenüber traditionellen Verfahren hinsichtlich des Fachwissenszuwachses jedoch nicht belegt werden.

7.3.7 Ergänzende Analyse: Zusammenhang zwischen Selbsteinschätzung und Vorwissen (Versuchsgruppe)

Der Zusammenhang zwischen Selbsteinschätzung und Vorwissen, getestet anhand der Variablen Selbsteinschätzung und Vorwissenstest, wurde zunächst durch eine Kreuztabelle dargestellt und anhand der Korrelation Kendall Tau b getestet. Die Ergebnisse des Pretests verdeutlichen keinen Zusammenhang zwischen Vorwissen und Selbsteinschätzung (Kendall Tau b = -0,05; $p = 0,54$). Die Einschätzung der Probanden der Versuchsgruppe lag verstärkt im guten ($N = 65$ von 105 Probanden) oder mittelmäßigen ($N = 31$ von 105 Probanden) Bereich bei gleichzeitig breitgefächertem Vorwissen zwischen 0 und 2 Punkten (0 Punkte 32,4 %; 1 Punkt 35,2 %; 2 Punkte 28,6 %) und sehr geringer Spitzengruppe (3 Punkte 3,8 %). Die Ergebnisse lassen, entsprechend den Befunden der Normierungsstudie, auf fehlende methodische Kenntnisse schließen (siehe Kap. 7.1.4). Im Posttest erreichen 66 % der Schülerinnen und Schüler ein sehr gutes Vorwissen mit 3 von 3 möglichen Punkten (vgl. Pretest 3,8 %). Weiterhin schätzt die Mehrzahl der Probanden ihre Kenntnisse gut ($N = 58$) oder mittelmäßig ($N = 34$) ein. Ein Zusammenhang der Variablen liegen nach Kendall Tau b 0,00 nicht vor ($p = 0,99$). Methodische Kenntnisse werden bei gleichzeitig geringerer Selbsteinschätzung belegt.

Die Selbsteinschätzung der Lernenden änderte sich kaum vom ersten zum zweiten Messzeitpunkt. Die Werte liegen jeweils primär im guten Selbsteinschätzungsbereich und sekundär im Bereich der mittelmäßigen Kategorie. Zugleich wird eine Änderung der Methodenkenntnisse von geringeren Kenntnissen (Pretest: 0 bis 2 Punkte) zu hohen Kenntnissen (Posttest: 3 Punkte) belegt. Als Fazit wird aufgezeigt, dass durch das problemlösende Lernen ein methodischer Kenntniszuwachs nachgewiesen wird, der die Selbsteinschätzung der Lernenden nicht maßgeblich beeinflusst. Hier muss allerdings das Problem der Ratingskala diskutiert werden. Die fünfstufige Likert-Skala wurde gewählt, um die Reliabilität zu erhöhen. Der Nachteil liegt in verschiedenen Aspekten, die hier nicht ausgeschlossen werden können. So bleibt an dieser Stelle unklar, ob es Unterschiede in der subjektiven Abstufung der Bedeutungen (z. B. gut und mittelmäßig) gab. Weiterhin kann die Nutzung der mittleren Kategorie (mittelmäßig) darauf hinweisen, dass die Probanden die Beantwortung verweigert haben (BÜHNER 2010, S. 115 f.). Diese Nachteile können auch in der vorliegenden Studie nicht ausgeschlossen werden. Allerdings wurde primär die zweite Abstufung (gut) gewählt, so dass die Tendenz zu Extremwerten bzw. mittleren Urteilen nicht nachgewiesen werden konnte. Die Möglichkeit der fehlerhaften Beantwortung wurde bedacht, jedoch für unwahrscheinlich eingestuft.

Als Erklärungsoption der Pretestergebnisse werden die bereits in der Normierungsstudie diskutierten Möglichkeiten der fehlerhaften Methodenvorstellung herangezogen. Im Pretest kann auf die fehlerhafte Methodenvorstellung der Lehrkräfte (GÜNTHER 2006) verwiesen werden, die in der Geographie durch Darstellung einfacher Beobachtungs- bzw. Untersuchungsverfahren im Kontext der Experimentiermethode in Geographieschulbüchern (LETHMATE 2003, S. 42) verstärkt wird (s. Kap. 7.1.4). Erstaunlich ist, dass keine subjektive Steigerung des methodischen Könnens zum Posttest resultierte. Eine mögliche Erklärung liegt in der komplexen Methode, charakterisiert durch die vier Teilkompetenzen sowie die Kriterien eines Experimentes. Die methodische Fehlvorstellung wurde mit dem komplexen Vorgehen eines geographischen Experimentes in Konflikt gesetzt. Hinsichtlich der Ergebnisse der Hypothese (1) sowie der Steigerung im Vorwissenstest wird davon ausgegangen, dass ein Konzeptwechsel der Fehlvorstellungen zu Fachvorstellungen erfolgt ist. Da Fachkonzepte ein deutlich höheres Anspruchsniveau bezüglich des methodischen Vorgehens implizieren als Beobachtungs- oder Untersuchungsverfahren, steigerten die Lernenden aufgrund der neuen komplexen Erkenntnisse über die Methode ihre Selbsteinschätzung nicht. Ob diese Erklärung zur Diskussion der Ergebnisse ausreicht, bleibt offen.

7.3.8 Ergänzende Analyse: Effekte des Kompetenzzuwachses im Vergleich der Teilkompetenzen (Versuchsgruppe)

Der Kompetenzzuwachs der Versuchsgruppe vom ersten zum zweiten Messzeitpunkt sowie vom ersten zum dritten Messzeitpunkt ($N = 79$) wurde durch eine Varianzanalyse mit paarweisen Vergleichen auf signifikante Unterschiede zwischen einzelnen Teilkompetenzen untersucht. Die gebildeten Differenzvariablen, die den individuellen Zuwachs ausdrücken ($T2$ minus $T1$ bzw. $T3$ minus $T1$), wurden mit einer ANOVA mit Messwiederholung mit anschließenden paarweisen Vergleichen (LSD-Test) getestet.

Im Kompetenzzuwachs von $T1$ zu $T2$ wurde ein Lernzuwachs in der Reihenfolge Daten auswerten \rightarrow Planung eines Experiments \rightarrow Hypothesen generieren \rightarrow Fragestellung formulieren belegt. Somit wird der geringste Zuwachs im Bereich Daten auswerten und der höchste in der Teilkompetenz Fragestellung formulieren festgestellt. Dabei unterscheidet sich die Teilkompetenz Daten auswerten signifikant zu den anderen drei Teilkompetenzen (jeweils $p < 0,001$). Zwischen den verbleibenden werden keine signifikanten Unterschiede deutlich, so dass die Reihenfolge nur im ersten Teilbereich (Daten auswerten) Relevanzen aufzeigt. In der Studie von HOF (2011) werden ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen den Teilkompetenzen Fragestellung formulieren, Hypothesen generieren und Planung eines Experiments deutlich. Der niedrige Kompetenzzuwachs der Teilkompetenz Daten auswerten

wurde in der vorliegenden Studie bereits diskutiert und auch bei GRUBE (2010) im Längsschnitt belegt (s. Kap. 7.1.1 und 7.3.3).

Vom Messzeitpunkt T1 zu T3 wurde ein Lernzuwachs in der Reihenfolge Daten auswerten → Fragestellung formulieren → Hypothesen generieren → Planung eines Experiments ohne signifikante Relevanz zwischen den einzelnen Teilkompetenzen ermittelt, so dass von weitestgehend gleichen Langzeitwirkungen innerhalb der Teilkompetenzen ausgegangen wird, bei denen die Teilkompetenz Planung eines Experiments und Hypothesen generieren leicht höhere (nicht signifikante) Kompetenzentwicklungen verzeichnet. GRUBE (2010) weist den Teilkompetenzen Fragestellung formulieren und Planung eines Experiments den niedrigsten Kompetenzzuwachs in einer Längsschnittanalyse zu und benennt die hohe methodische Anforderung der Teilkompetenzen als Ursache. In der vorliegenden Studie wurde hingegen eine Intervention durchgeführt, die gezielt die Förderung dieser Anforderungen fokussierte. Ausgehend von nicht signifikanten Unterschieden zwischen den Teilkompetenzen in der Langzeitwirkung, kann als Fazit benannt werden, dass durch die Intervention ein gleichwertiger Kompetenzzuwachs in allen Bereichen erfolgte und die methodischen Anforderungen und Schwierigkeiten der Teilkompetenzen Fragestellung formulieren (naturwissenschaftlich überprüfbar) und Planung eines Experiments (Variablen und Kontrollansatz) entsprechend berücksichtigt und gefördert werden konnten.

Da durch den Leistungstest nicht alle Facetten der Experimentierkompetenz erhoben werden konnten und dementsprechend blinde Flecke die Erkenntnisse überdecken können, wurde eine praktische Experimentieruntersuchung der Interventionsstudie angeschlossen. Ziel war eine detaillierte Analyse der Teilkompetenzen durch offenes Experimentieren zur Evaluierung der vierten und fünften Forschungsfragen.

7.4 Evaluationsstudie – Triangulation zum offenen Experimentieren

Die Evaluationsstudie erfolgte durch eine praktische Aufgabe im offenen Experimentierprozess. Die Probanden experimentierten zum Phänomen ‚Salzgehalt der Ostsee‘ und protokollierten das Vorgehen. Die Auswertung der Protokolle ist Evaluierungsgrundlage der Forschungsfragen 4 und 5, in denen das Experimentierniveau der Probanden sowie spezifische Problemfelder der Methode hinterfragt werden. Weiterhin werden durch die Triangulation sogenannte blinde Flecke kompensiert (FLICK 2011a, S. 84). Die Effektivität der Intervention durch den Ansatz des problemlösenden Lernens und der Methode des Experimentierens kann vertiefend analysiert und evaluiert werden, so dass die Möglichkeit ergänzender

Schlussfolgerungen bestehen. Vor den Evaluierungen der vierten und fünften Forschungsfragen erfolgt die Diskussion der Inter-Coder-Reliabilität.

7.4.1 Inter-Coder-Reliabilität

Die Kategorien (Codes) wurden im Vorfeld anhand eines Kompetenzstufungsmodells definiert, das orientiert am Kompetenzstufungsmodell nach HAMMANN (2004) der vorliegenden Konzeption angepasst wurde. 16 Codes wurden unterschieden, die auf vier Teilkompetenzen (Fragestellung formulieren, Hypothesen generieren, Planung eines Experiments, Daten auswerten) in Anlehnung an MAYER, GRUBE und MÖLLER (2009) und vier Stufungen (Stufe 1 bis 4), orientiert an HAMMANN (2004) basieren. Auf Grundlage dieses Modells codierten zwei unabhängige Personen die Textpassagen der Protokolle mit dem Ziel der Zuordnung und Einstufung der vier Teilkompetenzen in das Kompetenzstufungsmodell. Der Reliabilitätstest fungierte zur Überprüfung der Zuverlässigkeit und Genauigkeit der Codierungen. Ab 90% wurde die Reliabilität als sehr gut eingestuft und ab 80% als gut (NEUENDORF 2002, S. 143). Als Resultat können die Einstufungen in die folgenden Stufungen als sehr gut bezeichnet werden: Fragestellung formulieren Stufe 1, 2 und 4; Hypothesen generieren Stufe 1, 2, 3 und 4; Planung eines Experiments Stufe 1, 2, 3 und 4; Daten auswerten Stufe 3 und 4 ($0,92 - 1 r_H$). Im guten Reliabilitätsbereich liegen die Einstufungen der Auswertungsstufen 1 und 2 ($0,80$ und $0,82 r_H$). Eine Gesamtreliabilität von $0,91 r_H$ konnte belegt werden, die als sehr gut zu bezeichnen ist. Die Zuverlässigkeit und Genauigkeit der Codierung wurde bestätigt, so dass weitere Analysen folgen konnten. Eine Ausnahme stellte dabei die Reliabilität der Fragestellung Stufe 3 dar, die als gering kategorisiert ($0,50 r_H$) wurde. Die geringe Reliabilität der Codierung kann zum einen auf die geringe Codieranzahl (Stufe 3 Fragestellung Gesamtcodierungen 4) zurückgeführt werden, zum anderen müssen Problemaspekte der Einstufungskategorien berücksichtigt werden. Die Kompetenzstufen der Teilkompetenz Fragestellung formulieren wurden selbstständig entwickelt, da HAMMANN (2004) drei Kompetenzbereiche (Hypothesen generieren, Planung eines Experiments, Daten auswerten) beschreibt und die Teilkompetenz Fragestellung formulieren bisher nicht anhand eines adäquaten Stufungsmodells definiert wurde. Zur Diskussion der Kategorien werden im Folgenden die Stufen 3 und 4 herangezogen.

Die Stufe 3 der Teilkompetenz Fragestellung wurde definiert als Frage, die im Zusammenhang mit dem Phänomen oder Problem steht, aber nicht überprüfbar ist. Stufe 4 unterlag den Kriterien einer adäquat formulierten Frage, die im Zusammenhang mit dem Phänomen oder Problem steht und überprüfbar ist. Im Kontext der praktischen Experimentieraufgabe erfolgten die folgenden Formulierungen, die als Ausnahme nicht zur Übereinstimmung im Inter-Coder-Verfahren führten.

D20-F Vermischen sich die besonders hohen Salzgehalte und der sehr niedrige Salzgehalt?

D22-F Wie kann das sein, dass in einem Meer an verschiedenen Stellen unterschiedlich viel Salzgehalt ist?

Beide Fragestellungen wurden von einem Codierer der Stufe 4 zugeordnet und von dem zweiten der Stufe 3. Die Fragestellungen weisen inhaltliche Formulierungsaspekte auf, die die unterschiedlichen Einstufungen bedingt haben können. Der Salzgehalt wird in beiden Fragen benannt. In dem Kontext fehlt jedoch der Begriff ‚Wasser‘ bzw. ‚Ostsee‘ o. ä.. Dennoch sind beide Fragen weitestgehend adäquat formuliert und ermöglichen eine Überprüfung des Phänomens, so dass die Kriterien der Kompetenzstufe 4 erfüllt sind. In Anlehnung an den Erstcodierer erfolgt die Einstufung in das Kompetenzniveau 4.

Kontroversen in der Kompetenzeinstufung werden deutlich, die in zu weitgefassten Definitionen der Kompetenzstufen begründet sein könnten. Trotz der Problematik in der Teilkompetenz Fragestellung formulieren kam es zu einer insgesamt hohen Reliabilität der Codierungen, so dass die Diskussion des offenen Experimentierens anhand der Forschungsfragen 4 und 5 anschließen kann.

7.4.2 Offenes Experimentieren und Kompetenzstufenniveau 4

Die Analyse der Effektivität des offenen Experimentierprozesses beruht auf Kompetenzstufen in den vier Teilkompetenzen. Diese steigen im Niveau von Stufe 1 zu Stufe 4 und erreichen dort ein logisches, adäquates und systematisches Niveau. In der vierten Forschungsfrage wurde das zu erreichende Niveau im offenen Experimentierprozess nach erfolgter Intervention hinterfragt.

Fragestellung 4: Welche Kompetenzstufen werden durch offenes Experimentieren (Versuchsgruppe Teil II) erreicht?

Hypothese 4: Die Mehrzahl der Probanden erreicht in den Teilkompetenzen ein logisches, adäquates und systematisches Niveau (Stufe 4).

In der Teilkompetenz Fragestellung formulieren wurden 28 von $N = 30$ Protokollauschnitten einem Niveau Stufe 4 zugeordnet. In der Teilkompetenz Hypothesen generieren erreichen 20 Gruppen ein systematisches Niveau, im Bereich Planung eines Experiments 13 und im Bereich Daten auswerten 10. Im offenen Experimentierprozess erreichen die Probanden ein unterschiedliches Niveau mit steigender Entwicklung in der Aufeinanderfolge Daten auswerten → Planung eines Experiments → Hypothesen generieren → Fragestellung formulieren. Hypothese 4 kann nur teilweise bestätigt werden, d. h. in den Teilkompetenzen Fragestellung formulieren und Hypothesen generieren erreicht die Mehrzahl der Probanden (Frage-

stellung formulieren 93%; Hypothesen generieren 67%) ein Niveau der Stufe 4, in den Kompetenzbereichen Planung eines Experiments und Daten auswerten hingegen nicht (Planung eines Experiments 43%; Daten auswerten 33%).

Diese Reihenfolge entspricht den in der Interventionsstudie erhobenen Effekten des Kompetenzzuwachses im Vergleich der Teilkompetenzen T1 zu T2 (s. Kap. 7.3.8). Die Posttesterhebung (T2) folgte unmittelbar nach der offenen Experimentieraufgabe, so dass die Teilergebnisse der quantitativen Interventionsstudie durch die Ergebnisse der Evaluationsstudie bestätigt werden können.

In der Teilkompetenz Fragestellung formulieren erreichen 93% der Gruppen das höchste Kompetenzniveau. Vergleichende Ergebnisse aus Interventions- oder Evaluationsstudien liegen nicht vor, so dass diese zur Erklärung nicht herangezogen werden können. In der Teilkompetenz Fragstellung erreichen die Probanden kurzzeitig ein hohes Niveau, das zum einen in der Interventionsstudie belegt werden konnte (s. Kap. 7.3.8) und zum anderen im Kontext des offenen Experimentierens (Evaluationsstudie) deutlich wird. Dennoch belegt GRUBE (2010) in ihrer Studie die besondere Schwierigkeit der Teilkompetenz Fragestellung, so dass hier ein möglicher Deckeneffekt berücksichtigt werden muss. Die im Kompetenzentwicklungsmodell definierten Stufungen wurden zuvor nicht empirisch überprüft, sondern für die vorliegende Studie formuliert. Die Kompetenzstufen beginnen mit dem höchsten Niveau, das durch eine logische Formulierung gekennzeichnet ist (Frage wird adäquat formuliert; Frage steht im Zusammenhang mit dem Phänomen oder Problem; Frage ist überprüfbar) und erreichen eine Abstufung bis hin zum niedrigsten Niveau Stufe 1 (Fragestellung wird nicht formuliert) (s. Kap. 4.5.3). Der im Vergleich der vier Teilkompetenzen sehr hohe Niveaubereich der Teilkompetenz Fragestellung formulieren (93% Stufe 4) wirft im Rückschluss Fragen über die Effektivität der definierten Stufungen auf. Demnach könnte die Definition von MÖNTER und HOF (2012) eine detaillierte Abstufung ermöglichen, die zur Zeit der Konzeption noch nicht vorlag. Dabei werden enger und weiter gefasste Fragestellungen differenziert. Im Kontext des geographischen Experimentierens wird die engere Frage empfohlen, die inhaltlich zwischen abhängigen und unabhängigen Variablen unterscheidet und weiterhin die methodische Umsetzbarkeit beinhaltet (MÖNTER, HOF 2012, S. 298). Ein höheres Kompetenzniveau mit genaueren Abstufungen könnte erreicht werden, um das Kompetenzniveau der Fragestellung detaillierter analysieren und parallel mögliche Deckeneffekte verringern zu können. Die in der vorliegenden Evaluationsstudie formulierten Fragestellungen deuten stellenweise die durch MÖNTER und HOF (2012) definierten Kriterien an (C14-F „Ist Salzwasser schwerer als Süßwasser?“), sind aber oftmals durch eher weit gefasste Inhalte charakterisiert (z. B. C16-F „Vermischen sich Salz- und Süßwasser nicht?“). Dennoch kann festgehalten werden, dass die Probanden nach der Intervention fähig waren, Fragestellun-

gen zu formulieren, die zwar eher einen weit gefassten Kontext implizieren, dennoch ein systematisches naturwissenschaftliches Vorgehen ermöglichen, wonach 67% der Gruppen in der Teilkompetenz Hypothesen ein Niveau der Stufe 4 erreichten.

Somit stellte die Teilkompetenz Hypothesen generieren die Probanden auch im offenen Experimentierprozess vor geringere Probleme. Dies wird durch die Ergebnisse der vorgestellten Interventionsstudie im Vergleich der Teilkompetenz bestätigt, in denen zum zweiten Messzeitpunkt im Bereich Hypothesen generieren ebenfalls deutliche Kompetenzentwicklungen durch die methodische Intervention belegt werden konnten. Auch GRUBE (2010) zeigt diese Tendenz in einer Längsschnittanalyse über ein Schuljahr in der Gesamtstichprobe.

In der Teilkompetenz Planung eines Experiments erreichen 43% der Gruppen ein Niveau der Stufe 4, so dass nach der Intervention weniger als die Hälfte der Probanden ein hohes systematisches Niveau im Umgang mit Variablen erreicht haben. GRUBE (2010) führt die hohe methodische Anforderung der Teilkompetenz Planung als Ursache der niedrigeren Kompetenzentwicklung auf. CHEN und KLAHR (1999) belegen unter direkter Instruktion bei Probanden im Grundschulalter einen systematischen Umgang mit Variablen. Die offene Lernsituation der Sequenz 10 war hingegen durch ein hohes Maß an Offenheit unter Verzicht von direkter Instruktion gekennzeichnet. Der systematische Umgang mit Variablen in offenen Lernsituationen erfordert demnach höhere kognitive Leistungen, die auch Probanden der Jahrgangsstufe 6 vor Schwierigkeiten stellen. Zugleich lagen nur 3 von $N = 30$ Probanden unterhalb der Stufe 3, so dass zwar Probleme im Umgang mit Variablen identifiziert wurden, diese jedoch auf einem hohen Niveau vorlagen. Somit stellt der Teilbereich die Probanden vor Schwierigkeiten. Dennoch kann ein Kompetenzniveau erhoben werden, das primär in den Stufen 3 oder 4 liegt. Die Stufen wurden dadurch unterschieden, dass in Stufe 4 eine erfolgreiche Planung des Kontrollansatzes vorlag und in Stufe 3 dieser fehlte. Ein erster Problem-bereich der Teilkompetenz Planung ist damit identifiziert (= Kontrollansatz).

Zur Diskussion der Teilkompetenz Daten auswerten werden die Ergebnisse von SADEH und ZION (2012) betrachtet. In angeleiteten und offenen Situationen wurde das forschende Lernen untersucht. Dabei wurden als signifikante Ergebnisse zwischen zwei Gruppen (angeleitete und offene Projekte) belegt, dass die in offenen Lernumgebungen unterrichteten Schülerinnen und Schüler mehr Zeit in der konzeptionellen (Auswahl treffen, Fragestellung formulieren, Planung) sowie praktischen Phase (Durchführung des Experimentes) verwendeten, was zugleich Erklärungsoptionen für die höheren Kompetenzeinstufungen in den Teilkompetenzen Fragestellung formulieren, Hypothesen generieren und Planung eines Experiments der vorliegenden Studie bieten kann. Die angeleitete Lernenden empfanden hingegen den zeitlichen Aufwand zur finalen Dokumentation und Auswertung intensiver ($p < 0,001$). Diese Ergebnisse können Erklärungsmöglichkeiten für die niedrigere Kompetenzeinstufung in der

Teilkompetenz Daten auswerten bieten. Auch wenn die Intervention der Versuchsgruppe vom angeleiteten zum offenen Experimentieren konzipiert wurde, bestand am Ende der Intervention insbesondere in Sequenz 10 ein möglichst offenes Vorgehen ohne weitere methodische Vorgaben. Investierten die Probanden in der konzeptionellen und praktischen Phase höhere Zeitressourcen, so verwendeten sie in der finalen Auswertung einen geringeren Zeitumfang. Ein mögliches Zeitproblem der offenen Lernsituation kann an dieser Stelle ausgeschlossen werden, da eine Erprobung der Einheit im Vorfeld erfolgte und auch während der Durchführung (Sequenz 10) keine Zeitprobleme registriert wurden. Basierend auf den Ergebnissen der vorliegenden Studie, gestützt durch die Befunde von SADEH und ZION (2012), wird die Erklärung formuliert, dass die Probanden im offenen Experimentierprozess mehr Zeit auf die konzeptionellen und praktischen Phasen (Fragestellung formulieren bis Planung eines Experiments) legten und der finalen Auswertung weniger Zeit und Bedeutung und dadurch Inhalt zumaßen. Weiterhin muss der Aspekt der Schwierigkeit berücksichtigt werden. Die Teilkompetenz Daten auswerten ist einerseits durch die Methode der Beobachtung gekennzeichnet (Durchführung und anschließende Formulierung der Beobachtungen) und zum anderen durch die Transferierung auf das Raumbeispiel. Dies scheint, gekoppelt mit einem geringeren Zeitaufwand, besonders schwierigkeitsbasiert zu sein und höhere kognitive Leistungen zu bedeuten.

7.4.2 Offenes Experimentieren und Problembereiche

Fragestellung 5: Lassen sich durch die offene Lernumgebung spezifische Schwierigkeiten bei den einzelnen Teilkompetenzen des Experimentierens (Versuchsgruppe Teil II) identifizieren?

Hypothese 5: In allen vier Teilkompetenzen des Experimentierens können spezifische Defizite identifiziert werden.

In der Teilkompetenz Fragestellung formulieren besteht an dieser Stelle Forschungsbedarf bei der deutlicheren Abstufung der Niveaubereiche (s. Kap. 7.4.1). Mögliche Ansatzpunkte dafür bietet die Definition von MÖNTER und HOF (2012). Demnach können enger gefasste geographische Fragestellungen detaillierte Stufungen ermöglichen, die im höchsten Niveau zwischen abhängigen und unabhängigen Variablen unterscheiden und die methodische Umsetzbarkeit bzw. Reflexion aufgreifen (MÖNTER, HOF 2012, S. 298). Dadurch kann zudem an ein Defizit der zweiten Teilkompetenz angeschlossen werden.

Die fehlende Begründung der Hypothesen, die eine auf die Hypothesen bezogene abschließende Hypothesenrevision bzw. -bestätigung erschwert, könnte durch eine bereits begründete Fragestellung vermieden werden. Enthält die Frage inhaltliche Aspekte der abhängigen

und unabhängigen Variablen sowie der methodischen Umsetzbarkeit, sollten diese in den Hypothesen aufgegriffen und in der Planungs- und Durchführungsphase berücksichtigt werden. Dadurch kann eine exakte Hypothesenrevision oder -bestätigung auf Grundlage der Daten sowie des Vorgehens erfolgen. Der zweite Problembereich umfasst die fehlende Hypothesenrevision bzw. Bestätigung der Hypothesen, die oftmals gänzlich fehlte. Das Problem der Vermeidung von Hypothesenformulierungen (HAMMANN 2004, S. 199 f.) konnte im offenen Experimentierprozess nicht bestätigt werden, allerdings wird eine Vermeidung der Hypothesenrevision oder Hypothesenbestätigung deutlich. Gerade der Revision spricht HAMMANN (2009) im Umgang mit Hypothesen eine besondere Bedeutung zu. Weiterhin wurde im Kontext der Hypothesenrevision das bereits von DE JONG und VAN JOOLINGEN (1998) beschriebene Problem deutlich, dass die Verifikation bzw. Falsifikation der Hypothesen nicht auf Grundlage der gesammelten Daten erfolgt. Der dritte Problembereich ist durch den fehlenden Zusammenhang zur Fragestellung bzw. das Phänomen gekennzeichnet, das wiederum durch enger gefasste Fragestellungen konkretisiert werden könnte. DE JONG und VAN JOOLINGEN (1998) benennen weiterhin das fehlende Wissen darüber, wie Hypothesen formuliert werden, sowie die Vermeidung von Hypothesen, die als unwahrscheinlich erachtet werden. Die Protokollausschnitte verdeutlichen die Sicherheit der Probanden in der Formulierung von Hypothesen. Somit konnte durch die Intervention das Verständnis der Hypothesenformulierung gebildet werden. Der Aspekt der Vermeidungsstrategie von Hypothesen wurde in der vorliegenden Studie nicht belegt. Allerdings fehlen Belege für die Widerlegung, da im Rahmen des offenen Experimentierens keine entsprechenden Textausschnitte vorlagen.

In der Teilkompetenz Planung eines Experiments, d. h. angemessener Umgang mit Variablen, wurden drei Problembereiche erhoben: a) fehlende Kontrollvariablen, b) fehlender Kontrollansatz, c) Probleme mit der Variation. Das Problemfeld der a) fehlenden Kontrollvariablen wurde erhoben, allerdings wird es nicht als primäres Defizit aufgezeigt. Insgesamt identifizierten fast alle Gruppen Kontrollvariablen, wobei einige wenige Gruppen nicht alle Aspekte berücksichtigten. Insgesamt stellte der b) Kontrollansatz die Probanden vor deutliche Schwierigkeiten, da dieser zum einen nicht geplant oder zum anderen nicht benannt wurde. Im Kontext der Schülerprotokolle benannten einige Gruppen den Kontrollansatz nicht, obwohl er korrekt geplant und umgesetzt wurde. Ein Problem der Methode, d. h. Schülerprotokolle, wird deutlich, da teilweise nicht nachvollziehbar war, ob der Ansatz bewusst oder zufällig geplant wurde. Dennoch wurden insbesondere im Kontext des Kontrollansatzes Defizite deutlich, die in einer Vielzahl der Protokolle identifiziert werden konnten. Der dritte Problembereich, c) fehlerhafte Variation, ist durch unlogische Planungen oder das gänzliche Fehlen von Variationsansätzen gekennzeichnet. Das Problem der konfundierten Variablen wird auch von HAMMANN (2004) aufgeführt und in der vorliegenden Studie bestätigt. Das Defizit der

nicht zufriedenstellenden Experimente und der Variation zu vieler Variablen (DE JONG, VAN JOOLINGEN 1998, S. 185) wurde in der offenen Experimentieraufgabe stellenweise identifiziert. Die Probanden variierten dabei, ohne den Fokus auf die zuvor formulierten Hypothesen zu richten. Von einer Gruppe wurden z. B. fünf Experimentaufbauten geplant, deren Variation nicht die Überprüfung der Hypothesen ermöglichen konnte, sondern unzufriedene Ergebnisse lieferte. Teilweise waren Kontrollansatz und Variation nicht klar getrennt, zwei Ansätze entsprachen der Überprüfung der Hypothese und zwei weitere konnten als Variationen des Kontrollansatzes interpretiert werden. Anzumerken ist zugleich, dass das Vorgehen nach dem Prinzip trial-and-error in der offenen Experimentierphase nicht belegt werden konnte. Auch wenn spezifische Problemfelder identifiziert werden konnten, haben die Probanden Problemlösestrategien der Experimentiermethode angewendet, um dem Phänomen nachzugehen.

In der Teilkompetenz Daten auswerten wurde ein Problemfeld insbesondere im Bereich Transfer bzw. Übertragung auf das Raumbeispiel identifiziert. Die fehlende Interpretation erlaubt zwei Erklärungsoptionen. Zum einen könnte der Transfer auf das Raumbeispiel Ostsee zu abstrakt und zu schwierig für die Probanden der Jahrgangsstufe 6 gewesen sein. Zum anderen können die Ergebnisse darauf hindeuten, dass die Gruppen dem Transfer eine geringe Bedeutung zumaßen. Verschiedene Argumente stärken die zweite Variante. Demnach erfolgte bei 19 der $N = 30$ Protokollausschnitten kein Transfer. Wäre bei diesen eine Fehlinterpretation erfolgt, könnte auf einen zu hohen Schwierigkeitsgrad geschlossen werden. Da aber gänzlich auf einen Transfer verzichtet wurde, scheint diesem eine geringere Bedeutung im Kontext des geographischen Experimentes zugemessen worden zu sein. Zudem deutete sich in der Erprobung kein zu hoher Schwierigkeitsgrad an, so dass der Annahme nachgegangen wird, dass der Transfer bzw. die Übertragung auf das Raumbeispiel im Verständnis der Probanden zu gering verankert waren und ein Schwerpunkt auf die konzeptionellen und praktischen Phasen gelegt wurde (s. Kap. 7.4.2). Als Folge dieser Befunde kann eine getrennte Analyse der Auswertungs- und Interpretationsphase in zukünftigen Studien empfohlen werden bzw. eine verstärkte Förderung der finalen Datenauswertung und Interpretation. Die Interpretation bedarf damit einer gesonderten und spezifischen methodischen oder fachlichen Förderung. Der zweite Problembereich der Teilkompetenz Daten auswerten liegt in dem unangemessenen Umgang mit Anomalien, d. h. die Ergebnisse widersprechen den Erwartungen; der weitere Prozess erfolgt nicht auf Grundlage der ermittelten, sondern auf Basis der erwarteten Daten. Das Problem der falschen Rückschlüsse wurde bereits aufgezeigt (KLAHR, DUNABR 1988; DE JONG, VAN JOOLINGEN 1998; KLAHR ET AL. 1993; HAMMANN 2004) und wird in der vorliegenden Studie im Kontext des unangemessenen Umgangs mit Anomalien bestätigt. Insgesamt konnten in den Teilkompetenzen a) Fragestellung

formulieren, b) Hypothesen generieren, c) Planung eines Experiments, d) Daten auswerten spezifische Defizite erhoben werden, so dass die Hypothese 5 der vorliegenden Forschungsarbeit bestätigt ist.

Tabelle 32: Überblick der Ergebnisse

| | |
|---|--------------------------|
| Fragestellung 1: Zeigen die mit dem problemlösenden Ansatz unterrichteten Schülerinnen und Schüler (Versuchsgruppe) einen höheren Kompetenzzuwachs als die Probanden, die im fragend-gelenkten Ansatz (Vergleichsgruppe) unterrichtet werden? | |
| Hypothese 1: Mit dem Ansatz des problemlösenden Lernens erreichen die Schülerinnen und Schüler der Versuchsgruppe ein höheres Kompetenzniveau (positiver Effekt) in der Methode des Experimentierens als die Probanden der Vergleichsgruppe. | ✓ bestätigt |
| Hypothese 1.1: Der positive Effekt des Kompetenzniveaus der Versuchsgruppe ist langfristig wirksam. | ✓ bestätigt |
| Hypothese 1.2: Mit dem Ansatz des problemlösenden Lernens erreichen die Schülerinnen und Schüler der Versuchsgruppe ein höheres Kompetenzniveau (positiver Effekt) in allen vier Teilkompetenzen des Experimentierens als die Probanden der Vergleichsgruppe. | ○ teilweise bestätigt |
| Hypothese 1.3: Der positive Effekt des Kompetenzniveaus der Versuchsgruppe ist in allen vier Teilkompetenzen langfristig wirksam. | ○ teilweise bestätigt |
| Fragestellung 2: Hat die Lernausgangslage auf die Förderung der Teilkompetenzen des Experimentierens einen Effekt? | |
| Hypothese 2: Beim problemlösenden Lernen mit der Methode des Experimentierens (Versuchsgruppe) zeigen leistungstärkere Schüler gegenüber leistungsschwächeren eine erhöhte Kompetenzentwicklung (positive Effekte). | ✗ nicht bestätigt |
| Fragestellung 3: Kann mit dem Ansatz des problemlösenden Lernens neben dem methodischen Erkenntnisgewinn das Fachwissen gefördert werden? | |
| Hypothese 3: Problemlösendes Lernen mit der Methode des Experimentierens (Versuchsgruppe) zeigt positive Effekte beim Zuwachs des Fachwissens. | ✗ nicht bestätigt |
| Fragestellung 4: Welche Kompetenzstufen werden durch offenes Experimentieren (Versuchsgruppe Teil II) erreicht? | |
| Hypothese 4: Die Probanden erreichen in den Teilkompetenzen ein logisches, adäquates und systematisches Niveau (Stufe 4). | ○ teilweise bestätigt |
| Fragestellung 5: Lassen sich durch die offene Lernumgebung spezifische Schwierigkeiten bei den einzelnen Teilkompetenzen des Experimentierens (Versuchsgruppe Teil II) identifizieren? | |
| Hypothese 5: In allen vier Teilkompetenzen des Experimentierens können spezifische Defizite identifiziert werden. | ✓ bestätigt |

7.5 Diskussion der Methode

Die Erhebung der Interventionsstudie erfolgte durch einen multiple-choice-Test. Die Aufgabenkultur sichert einerseits die Objektivität, hat aber zugleich den Nachteil, dass nicht alle Facetten der kognitiven Kompetenzen erhoben werden können und durch die Vorgabe der Experimente Interpretationsmöglichkeiten bzw. die Möglichkeiten des Nachvollziehens gegeben sind, so von EHMER (2008) als Problem der geschlossenen Aufgabenformate beschrieben. Die Nachteile der multipl-choice-Aufgaben werden auch in der vorliegenden Studie insbesondere in den Teilbereichen Hypothesen generieren, Planung eines Experiments und Daten auswerten deutlich. Um die kognitive Leistungsfähigkeit der jungen Probanden nicht zu überfordern, mussten Schwerpunkte in den Teilkompetenzen gesetzt werden, die auf den Teilbereichen Fragestellung identifizieren und entsprechende Hypothesen ableiten bzw. generieren, Variablen identifizieren und kontrollieren, Daten auswerten und Aussagen formulieren lagen und orientiert an empirisch belegten Leistungstestaufgaben konzipiert wurden (z. B. BAUMERT ET AL. 1997; HAMMANN 2007; HOF 2011).

Abschließende Evaluationsaspekte werden damit eröffnet. Die Hypothesengenerierung als Schwerpunkt des Leistungstests im Bereich Hypothesen generieren konnte im Zuge der Intervention in der Vergleichsgruppe signifikant gefördert werden. In der offenen Aufgabe der Evaluationsstudie wurde die Teilkompetenz unter dem ergänzenden Aspekt der Revision bzw. Bestätigung erweitert und eine Vernachlässigung wurde aufgedeckt. Durch die vorgegebene Aufgabenkultur des Leistungstests konnte der Aspekt der Vernachlässigung nicht erhoben werden und wurde erst im Zug der Analyse der offenen Aufgabe identifiziert. Eine Ergänzung der Erkenntnisse wird deutlich. Im Teilbereich Planung eines Experiments waren im Leistungstest die Fragen primär auf den Kontrollansatz ausgerichtet. Die Probanden erreichten signifikant höhere Kompetenzentwicklungen als die Probanden der Vergleichsgruppen. Dennoch erwies sich der Kontrollansatz als deutliches Problemfeld der Teilkompetenz Planung im offenen Prozess (Evaluationsstudie). Demnach konnten die Schülerinnen und Schüler (Versuchsgruppen) im geschlossenen Aufgabenformat die richtigen Antworten aus den vorgegebenen Experimenten herleiten und eventuell interpretierend analysieren, was im offenen Experimentierprozess nicht möglich war. Die zu erbringenden kognitiven Leistungen waren im offenen Prozess demnach deutlich höher, da keine Vorgaben oder Antwortauswahl den Leistungsprozess beeinflussen oder erleichtern konnten. Auch im Teilbereich Daten auswerten konnten blinde Flecke identifiziert werden. So lag der Inhalt des Leistungstests auf der Beobachtung der Ergebnisse. Dieser Bereich erwies sich auch im offenen Prozess als unproblematisch, da alle Gruppen die Beobachtung ihrer Ergebnisse weitestgehend adäquat formulieren konnten. Demgegenüber konnte der Transfer der Daten auf das Raumbeispiel im offenen Experimentierprozess (Evaluationsstudie) als besonders problematisch

identifiziert werden. Auch wenn die Ergebnisse der Evaluationsstudie keinen repräsentativen Charakter haben, so konnten die Forschungsfragen evaluiert und sogenannten blinde Flecke aufgedeckt werden. Zudem erfolgten Ergänzungen, die durch die rein quantitative Erhebungsmethode nicht erhoben werden konnten.

Neben der Ermittlung von blinden Flecken und Ergänzungen werden auch offensichtliche Parallelen zwischen den Ergebnissen der Interventions- und Evaluationsstudie (d. h. Posttest und offener Experimentieraufgabe) erhoben, die insbesondere im Vergleich des Lernzuwachses (Interventionsstudie) sowie auf den Kompetenzeinstufungen (Evaluationsstudie) der Sequenz 10 basieren. Beide entsprechen einem Kompetenzstand mit aufsteigender Reihenfolge: Daten auswerten → Planung eines Experiments → Hypothesen generieren → Fragestellung formulieren. Deckeneffekte sind dabei zu berücksichtigen.

Weit gefasste Erkenntnisse zur geographischen Experimentierkompetenz mit dem Ansatz des problemlösenden Lernens wurden erhoben und zugleich neue Forschungsansätze auf diesem Gebiet eröffnet.

8 Konsequenzen für die Unterrichtspraxis

Die zentralen Erkenntnisse für die Unterrichtspraxis können in den folgenden Aspekten zusammengefasst werden:

- der problemlösende Unterrichtsansatz scheint geeignet zu sein, die Methodenkompetenz des geographischen Experiments und Strategien zum Lösen von Problemen zu fördern;
- um eine langfristige Methodenkompetenz entwickeln zu können, sollten kontinuierliche Förderungen im Laufe der Jahre erfolgen;
- leistungsschwächere Lernende scheinen Vorteile durch den Ansatz des problemlösenden Lernens zu haben;
- der Zuwachs des Fachwissens wird weder positiv noch negativ durch den Ansatz des problemlösenden Lernens beeinflusst;
- Fehlvorstellungen und unsystematisches Vorgehen im methodischen Umgang innerhalb der Methode sind stellenweise fest verankert, so dass durch einzelne Unterrichtsprozesse im problemlösenden Lernen nicht alle Defizite behoben werden können.

Der Unterrichtsansatz des problemlösenden Lernens ist insgesamt geeignet, um die Methodenkompetenz des Experimentierens bei Lernenden zu fördern. Parallel wird der fragend-gelenkte Unterricht im Erwerb von Fachwissen als ebenso effektives Unterrichtsverfahren identifiziert. Eine gänzliche Reduktion des traditionellen Ansatzes im Unterrichtsgeschehen sollte nicht erfolgen. Mit Blick auf die Teilkompetenzen des Experimentierens werden diesbezüglich Perspektiven eröffnet, die die Unterrichtsqualität beeinflussen können. Für die Praxis könnte dies z. B. bedeuten, dass eine verstärkte Zuwendung und Förderung der Interpretationsphase im Bereich der Teilkompetenz ‚Daten auswerten‘ erfolgen sollte. Dass diese Teilkompetenz eher auf fachlichem Wissen als auf Methodenkompetenz beruht, kann nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Synergieeffekte können somit in der Phase ‚Daten auswerten‘ und insbesondere im Teilbereich Interpretation durch Methodenwechsel erzeugt werden (strukturiertes, fragend-gelenktes Unterrichtsgespräch vs. Öffnung in problemlösenden Unterrichtssequenzen). Die Methodenvariation kann die Vorteile der einzelnen Unterrichtsansätze stärken und dadurch den Kompetenzerwerb positiv beeinflussen. Zudem benennt HELMKE (2005) die Methodenvielfalt als ein Qualitätskennzeichen. Weitere Autoren schließen sich dem an: „Eine angemessene Vielfalt an Unterrichtsmethoden ist ein Qualitätsmerkmal guten Unterrichts“ (GÖTZ ET AL. 2005, S. 342).

HOF (2011) führt in diesem Kontext das Kriterium der Kompetenzförderung im Vergleich zum Erwerb des Fachwissens an und beschreibt den Wechsel offener und angeleiteter Arbeitsprozesse als mögliche Optimierung des Kompetenzerwerbs. Die Heranführung durch struk-

turierte und angeleitete Unterrichtsphasen mit einer kontinuierlichen Öffnung des methodischen Vorgehens, wie in der vorliegenden Studie konzipiert und praktiziert, führt diesen Optimierungsgedanken fort und wird fachdidaktischen Publikationen im Kontext des geographischen Experimentierens gerecht (OTTO ET AL. 2011, S. 105; MÖNTER, HOF 2012, S. 304 f.). Dennoch ist eine geringere Effektivität des problemlösenden Unterrichtsansatzes auf die langfristige Kompetenzentwicklung zu verzeichnen. Eine wiederholende Förderung könnte dieser Tendenz entgegenwirken und sollte in schulinternen Curricula berücksichtigt werden. Ein Spiralcurriculum, basierend auf einem Kompetenzentwicklungsmodell (z. B. HAMMANN 2004; OTTO ET AL. 2010; MÖNTER, HOF 2012), wie es auch in anderen geographischen Kompetenzbereichen gefordert wird (RINGEL 2012, S. 188 f.), sollte die Grundlage bilden. Eine wiederholende Förderung der einzelnen Teilkompetenzen mit steigendem Niveau und Öffnungsgrad wird empfohlen. Dies kommt den Forderungen entgegen, die Lernenden vor einer (methodischen) Überforderung zu bewahren (z. B. MÖNTER, HOF 2012, S. 305 f.), und beinhaltet zugleich das Potenzial, die spezifischen Defizite der Methode allmählich zu reduzieren. Im Umkehrschluss könnte eine graduelle Kompetenzentwicklung der systematischen Denk- und Arbeitsweise gebildet werden. Ziel sollte eine transparente, planbare und strukturierte Kompetenzentwicklung im Laufe der Schuljahre sein.

Dass die Schulart einen erheblichen Einfluss auf das naturwissenschaftliche Kompetenzniveau der Lernenden hat, wurde bereits in den PISA-Erhebungen deutlich (PRENZEL ET AL. 2006b, S. 6; KLIEME ET. AL 2010, S. 189 f.) und in der vorliegenden Normierungsstudie bestätigt. Zugleich konnte belegt werden, dass Lernende der bildungsschwächeren Schularten (Realschule, IGS) einen hohen Kompetenzerwerb im problemlösenden Unterrichtsprozess erreichen können. Somit kann der problemlösende Unterrichtsansatz, der im Experimentierprozess durch eine schrittweise Öffnung der Schülereigenständigkeit gekennzeichnet ist (MÖNTER, HOF 2012, S. 305 f.), gerade leistungsschwächeren Lernenden die Chance der naturwissenschaftlichen Kompetenzentwicklung ermöglichen und so individuelle Zukunftsperspektiven verbessern.

Die Konzeption und Durchführung eines geographischen Experiments mit dem Ansatz des problemlösenden Lernens ist durch einen zeitlichen, materiellen und organisatorischen Mehraufwand im Vergleich zu traditionellen Unterrichtsansätzen gekennzeichnet. Diesen Nachteilen wirken eine Vielzahl von Vorteilen entgegen, die im Gesamtkonzept überwiegen: Neben einer deutlichen Kompetenzentwicklung im methodischen Bereich ist bei gleichem zeitlichen Aufwand durch den Ansatz des problemlösenden Lernens kein geringerer Zuwachs an Fachwissens zu erwarten. Auch scheinen leistungsschwächere Lernende Vorteile aus einer solchen Unterrichtskonzeption ziehen zu können.

9 Fazit und Ausblick

Aus dem Einleitungskapitel geht hervor, dass im Zuge der PISA-Ergebnisse eine verstärkte Problemorientierung in der naturwissenschaftlichen Grundbildung gefordert wurde. Kompetenzorientierte Unterrichtsprozesse bieten dabei die Chance, den Schülerinnen und Schülern Konzepte und Strategien für lebenslanges Lernen zu vermitteln. Erkenntnisprozesse verstehen, diese anwenden und reflektieren zu können stellt dafür eine Grundvoraussetzung dar. Die Methode des Experimentierens bietet die Möglichkeit, solche Problemlösungsstrategien nachvollziehbar zu machen und sie selbstständig entwickeln und langfristig nutzen zu können. Kennzeichnend ist ein systematisches Vorgehen, um Probleme und Phänomene lösen bzw. erklären zu können. Die Geographie als Schnittstelle der Natur- und Gesellschaftswissenschaften bildet eine Basis für diesen Verantwortungsbereich. Der „Geographieunterricht [trägt] in besonderem Maße dazu bei, ein mehrperspektivisches, systematisches und problemlösendes Denken zu fördern“ (DGFG 2007, S. 6). Im Resümee dieser Forderungen bzw. Verantwortungsbereiche können durch die Methode ‚Experimentieren‘ grundlegende Kompetenzen im Bereich der geographischen Erkenntnisgewinnung gefördert werden. Dennoch lagen bisher nur in Ansätzen Forschungsergebnisse zur Erkenntnisgewinnung durch die Methode des Experiments aus geographiedidaktischer Perspektive vor. Die Ergebnisse der vorliegenden Forschungsarbeit verdeutlichen zum einen den Mehrwert der Methode für den Geographieunterricht, da systematische Problemlösestrategien entwickelt und angewendet werden können, um geographische Probleme und Phänomene zu erklären und dadurch einen Beitrag zur Welterschließung zu leisten. Zum anderen können die naturwissenschaftliche Position der Geographie und zugleich die Brückendisziplin, ihr Identitätsmerkmal, gestärkt werden.

Neben den vielfältigen Erkenntnissen zum problemlösenden Lernen mit der Methode des Experimentierens wurden zugleich neue Forschungsfelder aufgedeckt, die in späteren Forschungsvorhaben evaluiert werden sollten. Das Kompetenzentwicklungsmodell erwies sich grundsätzlich als geeignet. Eine Ausnahme stellte dabei die Teilkompetenz Fragestellung formulieren dar. Eine Überarbeitung der Teilkompetenz auf Grundlage der Entwicklung von Kompetenzmodellen nach HEMMER (2012) könnte die Probleme der Variablen, der hierarchischen Strukturierung (Kompetenzstufungen) und der eindeutigen Definitionen beheben. Die Berücksichtigung von z. B. weit- bzw. enggefassten Fragestellungen (MÖNTER, HOF 2012, S. 298) könnte differenzierte Strukturierungsmöglichkeiten der Kompetenzentwicklung ermöglichen und methodischen Defiziten seitens der Lernenden langfristig vorbeugen. Eine entsprechende Ergänzung bzw. Überarbeitung der Teilkompetenz Hypothesen generieren könnte weitere Problembereiche eingrenzen. Zur Umsetzung sollte ein Messinstrument entwickelt werden, das die Kompetenzstufen objektiv abbildet. In der Konzeption des vorliegen-

den Messinstruments wurden Probleme deutlich, die mit Deckeneffekten (Teilkompetenz Daten auswerten) einhergehen. Um diesen vorzubeugen und die Reliabilität zu verbessern, sollte u. a. die Itemanzahl in den einzelnen Kompetenzstufen erhöht werden.

Die gewählte Methodik unter Berücksichtigung quantitativer und qualitativer Verfahren, wie bereits bei HOF (2011) im Kontext neuer Forschungsfeldern zur kompetenzorientierten Erkenntnisgewinnung benannt, ist geeignet, weitreichende Erkenntnisse zur Kompetenzentwicklung belegen zu können. Zugleich werden neue Forschungsperspektiven eröffnet, die in Folgestudien detailliert evaluiert werden sollten. In allen Teilkompetenzen der Methode wurden spezifische Problem- und Forschungsfelder eröffnet, die sowohl im forschungsmethodischen Bereich als auch auf Grundlage der Ergebnisse Optionen bieten. Methodisch könnte eine vertiefende qualitative Analyse im praktischen Experimentierprozess (z. B. durch Videografieren) u. a. Einblicke in gruppendynamische Einflussfaktoren (z. B. STEIN 2012) bieten, die auf kooperative Arbeitsprozesse wirken können. Problemlösende Lernsituationen sind durch kooperative Prozesse gekennzeichnet. Entstehende Dynamiken innerhalb der Gruppen könnten den Kompetenzentwicklungsprozess nachhaltig beeinflussen. Durch qualitative Analysemethoden könnten solche Prozesse aufgedeckt werden und weitere Rückschlüsse über die Kompetenzentwicklung im problemlösenden, kooperativen Prozess durch die Methode des Experimentierens zulassen. Auf Grundlage der Ergebnisse (spezifische Defizite) der einzelnen Teilkompetenzen könnten außerdem Probleme des unsystematischen Vorgehens explizit analysiert und langfristig korrigiert werden. Demnach wurden in der offenen Lernsituation einzelne methodische Elemente als besonders diffizil bewertet, z. B. der systematische Umgang mit dem Kontrollansatz (Teilkompetenz Planung eines Experiments) oder die Übertragung der Erkenntnisse auf das Raumbeispiel (Teilkompetenz Daten auswerten).

Um das Potenzial der Methode nutzen zu können, muss die Möglichkeit geschaffen werden, die Methode des Experimentierens verstärkt und fachdidaktisch angemessen in die Unterrichtspraxis zu implementieren. Auch für geographische Lehrkräfte ohne grundlegende naturwissenschaftliche Kenntnisse muss die Möglichkeit geschaffen werden, sich mit dem Konzept vertraut machen zu können. Daraus resultieren zwei Forderungen: Zum einen muss der methodische Begriff ‚Experiment‘ in geographischen Fachzeitschriften, Schulbüchern und Arbeitsmaterialien fach- und methodengemäß kommuniziert werden. Grundlagen dafür bieten neben der vorliegenden Forschungsarbeit jüngere fachdidaktische Publikationen (z. B. OTTO 2009; OTTO, MÖNTER 2009; OTTO ET AL. 2010; MÖNTER, HOF 2012). Zum anderen sollte weiterhin und verstärkt die Entwicklung und Veröffentlichung von fach- und methodengemäßen Experimenten erfolgen, die den breiten inhaltlichen/thematischen Kontext sowie das (naturwissenschaftliche) Potenzial der Geographie abdecken. Angeleitete und offene Phasen

wurden in der Unterrichtskonzeption – Süßwasser- und Salzwasserphänomene/-probleme – auch innerhalb der Teilkompetenzen eingesetzt. Dies sollte in den einzelnen Teilbereichen des Experimentierens ebenso berücksichtigt werden wie das aufsteigende Schwierigkeits- und Komplexitätsniveau. Dabei müssen in den Lehrer- und Schülermaterialien explizit die Problembereiche, d. h. die Defizite der Teilkompetenzen, thematisiert werden, um entsprechende Förderungen zu ermöglichen.

10 Literaturverzeichnis

- ACKERMANN, H., ROSENBUSCH, H. S. (2002): Qualitative Forschung in der Schulpädagogik. In: KÖNIG, E., ZEDLER, P. (Hrsg.): Qualitative Forschung. Weinheim, Basel. S. 31-54.
- APEL, H. J. (2002). Planung und Vorbereitung von Unterricht und Lernumgebungen – Planungstheorien. In: APEL, H. J., SACHER, W. (Hrsg.): Studienbuch Schulpädagogik. Bad Heilbrunn. S. 260–283.
- ARTELT, C., BAUMERT, J., KLIEME, E., NEUBRAND, M., PRENZEL, M., SCHIEFELE, U., SCHNEIDER, W., SCHÜMER, G., STANAT, P., TILLMANN, K. J., WEIß, M. (2001): PISA 2000. Zusammenfassung zentraler Befunde. Berlin: Download (3.2.2012): <http://www.mpib-berlin.mpg.de/Pisa/ergebnisse.pdf>
- AUSUBEL, D. P. (1968): Educational psychology: A cognitive view. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- AUSUBEL, D. P. (1974): Adults versus children in second-language learning. The Modern Language Journal, 58, S. 420-423.
- BAUMERT, J., KLIEME, E., NEUBRAND, M., PRENZEL, M., SCHIEFELE, U., SCHNEIDER, W., TILLMANN, K. J., WEIß, M. (2003): Erfassung fachübergreifender Problemlösekompetenzen in PISA. Berlin.
- BERCK, K. H., GRAF, D. (2010): Biologiedidaktik. Grundlagen und Methoden. Wiebelsheim.
- BETSCH, T.; FUNKE, J., PLESSNER, H. (2011): Denken – Urteilen, Entscheiden, Problemlösen. Allgemeine Psychologie für Bachelor. Berlin, Heidelberg.
- BOHL, T. (2003). Offen unterrichten – geschlossen beurteilen? Ausgewählte Problembereiche einer veränderten Leistungsbeurteilung im offenen Unterricht. Dokumentation zum Symposium „Leistungsbeurteilung nach PISA“ im Rahmen der Bildungsmesse 2003 Nürnberg, S. 66–75: Download (12.10.2012): <http://www.vds-bildungsmedien.de/veranstaltungen/symposien-zur-didacta/symposien-2003/>
- BORTZ, J. (2005): Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler. Heidelberg.
- BORTZ, J., DÖRING, N. (2003): Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler. Berlin.
- BOS, W., LANKES, E.-M., PRENZEL, M., SCHWIPPERT, K., VALTIN, R., WALTHER, G. (2003): Erste Ergebnisse aus IGLU. Schülerleistungen am Ende der vierten Jahrgangsstufe im internationalen Vergleich. Münster.

- BÖSEL, R. M. (2001): Denken. Ein Lehrbuch. Göttingen.
- BREDDERMANN, T. (1983), Effects of Activity-based Elementary Science on Student Outcomes: A Quantitative Synthesis. *Review of Educational Research*, 53, S. 499-518.
- BREITBACH, T. (1999): Experimente: In: BÖHN, D. (Hrsg.): *Didaktik der Geographie. Begriffe*. München. S. 41.
- BRUNER, J. S. (1961): The art of discovery. *Harvard Education Review*, 31, S. 21-32.
- BÜHNER, M. (2004): Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion. München.
- BÜHNER, M. (2010): Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion. München.
- BURNS, J.C., OKEY, J.R., WISE, K.C. (1985): Development of an Integrated Process Skill Test. TIPS II. *Journal of Research in Science Teaching*, 22/2, S. 169-177.
- CAREY, S., EVANS, R. (1989): An experiment is when you try it and see if it works: A study of Grade 7 students understanding of the construction of scientific knowledge. *International Journal of Science Education*, 11/5, S. 514-529.
- CHEN, Z., KLAHR, D. (1999): All Other Things Being Equal: Acquisition and Transfer of the Control of Variables Strategy. *Child Development*, 70/5, S. 1098-1119.
- DE JONG, T., VAN JOOLINGEN, W. R. (1998): Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains, *Review of Educational Research*, 68/2, S. 179-201.
- DFEE/QCA (1999): The National Curriculum Handbook for primary teachers in England: Download (19.03.2012): <http://www.educationengland.org.uk/documents/pdfs/1999-nc-primary-handbook.pdf>
- DGFG (2007): Bildungsstandards im Fach Geographie für den Mittleren Schulabschluss. Berlin.
- DILLASHAW, F.G., OKAY, J.R. (1980): Test of Integrated Process Skills for Secondary Science Students. *Science Education*, 64/5, S. 601-608.
- DÖRNER, D., PFEIFER, E. (1992): Strategisches Denken, strategische Fehler, Stress und Intelligenz. In: *Sprache & Kognition*, 11, S. 75-90.
- DRIELING, K. (2006): Der experimentelle Algorithmus. Das Beispiel Bodenversalzung. In: *Praxis Geographie*, Heft 11, S. 18-20.

- DUGGAN, S., JOHNSON, P., GOTT, R. (1996): A Critical Point in Investigative Work: Defining Variables. *Journal of Research in Science Teaching*, 33/5, S. 461-474.
- DUNCKER, K. (1935): *Zur Psychologie des produktiven Denkens*. Berlin.
- EHMER, M. (2008): Förderung von kognitiven Fähigkeiten beim Experimentieren im Biologieunterricht der 6. Klasse: Eine Untersuchung zur Wirksamkeit von methodischem, epistemologischem und negativem Wissen. Kiel (Diss.).
- FAGERLAND, M. W. (2012): t-tests, non-parametric tests, and large studies – a paradox of statistical practice?. *BMC Medical Research Methodology*, 78: Download (10.10.2011): <http://www.biomedcentral.com/1471-2288/12/78>
- FISCHER, H. E., DRAXLER, D. (2007): Konstruktion und Bewertung von Physikaufgaben. In: KIRCHNER, E., GIRWIDZ, R., HÄUßLER, P. (Hrsg.): *Physikdidaktik. Theorie und Praxis*. Berlin, Heidelberg. S. 639-654.
- FLICK, U. (2011a): Triangulation. Eine Einführung. In: BOHNSACK, R., FLICK, U., LÜDERS, C., REICHERTZ, J. (Hrsg.): *Qualitative Sozialforschung*. Band 12. Verlag für Sozialwissenschaften. Wiesbaden.
- FLICK, U. (2011b): *Qualitative Sozialforschung. Eine Einführung*. Reinbek bei Hamburg.
- FUNKE, J. (2003): *Problemlösendes Denken*. Stuttgart.
- FUNKE, J. (2006): Lösen komplexer Probleme. Solving Complex Problems. In: FUNKE, J., FRENSCH, P. A. (Hrsg.): *Handbuch der Allgemeinen Psychologie – Kognition*. Göttingen. S. 439-445.
- FURTAK, E. M., SEIDEL, T., IVERSON, H., BRIGGS, D.C. (2012): Experimental and Quasi-Experimental Studies of Inquirey-Based Science Teaching: A Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, 82/3, S. 300-329.
- GEBAUER, J. (1976): *Ökophysiologie und Verwendungsmöglichkeiten der Wildobstarten Adansonia digitata und Tamarindus indica im Sudan*. Dissertation: Download (20.3.2012): http://edoc.hu-berlin.de/dissertationen/gebauer-jens-2003-06-05/HTML/Gebauer_html_7dd9109c.jpg
- GERMANN, P.J. (1989): The Process of Biological Investigations Test. *Journal of Research in Science Teaching*, 26,7, S. 609-625.
- GLASER, R. SCHAUBLE, L., RAGHAVAN, K., ZEITZ, C. (1992): Scientific reasoning across different domains. In: CORTE D. E., LINN, M., MANDL, H., VERSCHAFFEL, L. (Hrsg.): *Computer-based learning environments and problem solving*. Berlin. S. 345-373.

- GÖTZE, T., LOHRMANN, K., GANSER, B., HAAG, L. (2005): Einsatz von Unterrichtsmethoden – Konstanz oder Wandel? In: Empirische Pädagogik, 19/4, S. 342-360.
- GRUBE, C., MÖLLER, A., MAYER, J. (2007): Dimensionierung wissenschaftsmethodischer Kompetenzen. In: BAYRHUBER, H., BOGNER, F. X., GRAF, D., GROPEGIEßER, H., HAMMANN, M., HARMS, U. (Hrsg.): Ausbildung und Professionalisierung von Lehrkräften. Internationale Tagung der Fachgruppe Biologiedidaktik im VBIO. Kassel. S. 31-34.
- GRUBER, C. (2010): Kompetenzen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung. Untersuchung der Struktur und Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens bei Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I. Kassel (Diss.).
- GÜNTHER, J. (2006): Lehrerfortbildung über die Natur der Naturwissenschaften: Studien über das Wissenschaftsverständnis von Grundschullehrkräften. Berlin.
- HAMMANN (2004): Kompetenzentwicklungsmodelle. Merkmale und ihre Bedeutung – dargestellt anhand von Kompetenzen beim Experimentieren. In: Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht, 57/4, S.196-203.
- HAMMANN, M., GANSER, M., HAUPT, M. (2007): Experimentieren können. Kompetenzentwicklungsmodelle und ihre Nutzung im Unterricht. In: geographie heute, Heft 255, S. 88-91.
- HAMMANN, M., HOI PHAN, T., BAYRHUBER, H. (2007a): Experimentieren als Problemlösen: Lässt sich das SDDS-Modell nutzen, um unterschiedliche Dimensionen beim Experimentieren zu messen? In: Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, Jg. 10/8, S. 33-49.
- HAMMANN, M., PHAN, T., EHMER, M. BAYRHUBER, H. (2006). Fehlerfrei Experimentieren. In: Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht, Heft 59/5, S. 292-299.
- HANDELSMANN J., EBERT-MAY, D., BEICHNER, R., BRUNS, P., CHANG, A., DEHAAN, R., GENTILE, J., LAUFFER, S., STEWART, J., TILGHMAN, S.M., WOOD, W.B. (2004): Scientific Teaching, Science, 304, S. 521-522.
- HASSELHORN, M., GOLD, A. (2009): Pädagogische Psychologie. Erfolgreiches Lernen und Lehren. Stuttgart.
- HELL, K. (2001): Boden. Experimente aus dem Küchenschrank. Gotha.
- HELL, K. (2002): Wasser. Experimente aus dem Küchenschrank. Gotha.

- HELLER, K. A., HANY, E. A. (1992): Psychologische Modelle der Hochbegabtenförderung. In: WEINERT, F. E. (Hrsg.): Psychologie des Lernens und der Instruktion. 2. Enzyklopädie der Psychologie. Göttingen. S. 477-513.
- HELMKE, A. (2006). Unterrichtsforschung. In: ARNOLD, K.-H., SANDFUCHS, U., WIECHMANN, J. (Hrsg.): Handbuch Unterricht. Bad Heilbrunn. S. 56-65.
- HEMMER, I. (2012): Standards und Kompetenzen. In: HAVERSATH, J. B. (Mod.): Geographiedidaktik. Braunschweig. S. 90-106.
- HEMMER, I., HEMMER, M. (2007): Nationale Bildungsstandards im Fach Geographie. Genese, Standortbestimmung, Ausblick. In: geographie heute. Heft 255, S. 2-9.
- HEMMER, I., HEMMER, M. (2010): Schülerinteresse an Themen, Regionen und Arbeitsweisen des Geographieunterrichts. Ergebnisse der empirischen Forschung und deren Konsequenzen für die Unterrichtspraxis. Geographiedidaktische Forschung. Band 46. Weingarten.
- HEYDEN, K. (2009): Landschaftswandel am Aralsee. In: Diercke 360°Nr. Heft 02, S. 19-23.
- HIMME, A. (2007): Gütekriterien der Messung: Reliabilität, Validität und Generalisierbarkeit. In: ALBERS, S., KLAPPER, D., KONRADT, U., WALTER, A., WOLF, J. (Hrsg.): Methodik der empirischen Forschung. Wiesbaden. S. 375-391.
- HOF, S. (2011): Wissenschaftsmethodischer Kompetenzerwerb durch Forschendes Lernen. Entwicklung und Evaluation einer Interventionsstudie. Kassel.
- HORWITZ, P. NEUMANN, E., SCHWARTZ, J. (1996): Teaching science at multiple levels: The GenScope program. Communications of the ACM, 39, S. 100-102.
- HWANG, G. J., WU, P. H., CHEN, C. C. (2012): An online game approach for improving students' learning performance in web-based problem-solving activities. Computers & Education, 59, S. 1246–1256.
- IPN (LEIBNIZ-INSTITUT FÜR DIE PÄDAGOGIK DER NATURWISSENSCHAFTEN UND MATHEMATIK AN DER UNIVERSITÄT KIEL) (2011): PISA. Programme for international student assessment. Download (05.11.2010): <http://pisa.ipn.uni-kiel.de/>
- JOHNSON, D. W., JOHNSON, R. T. (1994): Learning Together and Alone. Cooperative, Competitive, and Individualistic Learning. Edina (Minn.).
- KARDORFF, V.E. (2012): Qualitative Evaluationsforschung. In: FLICK, U., KARDORFF, V.E., STEINKE, I. (Hrsg.): Qualitative Forschung. Ein Handbuch. Reinbek bei Hamburg. S. 238-250.

- KELLE, U. (2012): Computergestützte Analyse qualitativer Daten. In: FLICK, U., KARDORFF, E. V., STEINKE, I. (Hrsg.): Qualitative Forschung. Ein Handbuch. Reinbek bei Hamburg. S. 485-501.
- KIRSCHNER, P. A.; SWELLER, J., CLARK, R.E. (2006): Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experimental, and Inquiry-Based Teaching. *Educational Psychologist*, 41/2, S. 75-86.
- KLAHR, D., NIGAM, M. (2004): The Equivalence of learning Path in Early Science Instruction. Effects of Direct Instruction and Discovery Learning. *Psychologist*, S. 1-11. Download (28.01.2012): <http://www.psy.cmu.edu/faculty/klahr/KlahrNigam.2-col.pdf>
- KLAHR, D. (2000): Exploring Science. The Cognition and Development of Discovery Processes. Cambridge (USA).
- KLAHR, D., DUNBAR, K. (1988): Dual space search during scientific reasoning. In: *Cognitive Science*, 12, S. 1.48.
- KLAHR, D., DUNBAR, K., FAY, A. L. (1993): Heuristic for scientific Experimentation: a developmental study. In: *cognitive psychology*, 25, S. 111-146.
- KLIEME, E., ARTELT, C., HARTIG, J., JUDE, N., KÖLLER, O., PRENZEL, M., SCHNEIDER, W., STANAT, P. (2010): PISA 2009. Bilanz nach einem Jahrzehnt. Berlin: Download (05.06.2011): http://pisa.dipf.de/de/de/pisa-2009/ergebnisberichte/PISA_2009_Bilanz_nach_einem_Jahrzehnt.pdf
- KLIX, F. (1971): Information und Verhalten. Kybernetische Aspekte der organismischen Informationsverarbeitung. Bern.
- KLOS, S., HENKE, C., KIEREN, C., WALPUSKI, M., SUMFLETH, E. (2008): Naturwissenschaftliches Experimentieren und chemisches Fachwissen – zwei verschiedene Kompetenzen. In: *Zeitschrift für Pädagogik*, Heft 54/3, S. 304-321.
- KÖCK, H. (1991): Didaktik der Geographie. Methodologie. München.
- KÖHLER, K. (2012): Nach welchen Prinzipien kann Biologieunterricht gestaltet werden? In: SPÖRHASE, U. (Hrsg.): Biologiedidaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II. Berlin. S. 112-129.

- KRÜGER, D., RIEMEIER, T. (2007): Qualitative Auswertung von Vermittlungsexperimenten zur Wirkung von Lernangeboten – Eine Untersuchung im Rahmen Entwicklungsorientierter Evaluationsforschung. In: BAYRHUBER, H., ELSTER, D., KRÜGER, D., VOLLMER, H.J. (Hrsg.): Kompetenzentwicklung und Assessment. Innsbruck, Wien, Bozen. S. 87-107.
- KUCKARTZ, U. (2010): Einführung in die computergestützte Analyse qualitativer Daten. Wiesbaden.
- KUHN, D., DAMSEL, E., O' LOUGHLIN, M. (1988): The Development of Scientific Thinking Skills. San Diego.
- KUHN, D., SCHAUBLE, L., GARCIA-MILA, M. (1992): Cross-domain development of scientific reasoning. In: Cognition and Instruction, 9, S. 285-327.
- KULTUSMINISTERKONFERENZ (2013a): Das neue Kerncurriculum für Hessen: Download (10.01.2012):
http://www.iq.hessen.de/irj/IQ_Internet?cid=77231815871ba59d424672e8c98be77e
- KULTUSMINISTERKONFERENZ (2013b): Lehrplan Erdkunde. Bildungsgang Realschule. Jahrgangsstufe 5 bis 10: Download (02.03.2012): http://verwaltung.hessen.de/irj/HKM_Internet?cid=9e0b5517dfc688683c15ce252202d4b9
- KULTUSMINISTERKONFERENZ (2013c): Lehrplan Erdkunde. Gymnasialer Bildungsgang. Jahrgangsstufe 5 bis 13: Download (02.03.2012): http://verwaltung.hessen.de/irj/HKM_Internet?cid=9e0b5517dfc688683c15ce252202d4b9
- KULTUSMINISTERKONFERENZ (2013d): Lehrplan Mathematik. Bildungsgang Realschule: Download (10.01.2012): http://verwaltung.hessen.de/irj/HKM_Internet?cid=9e0b5517dfc688683c15ce252202d4b9
- KULTUSMINISTERKONFERENZ (2013e): Bildungsstandards und Inhaltsfelder. Das neue Kerncurriculum für Hessen. Sekundarstufe I – Realschule. Politik und Wirtschaft: Download (10.01.2013): http://verwaltung.hessen.de/irj/HKM_Internet?cid=9ac47f3484b40a67a678fd2f4ba49cdd
- LABUDDE, P. (2010): Fachdidaktik Naturwissenschaft. 1.-9. Schuljahr. Bern, Stuttgart, Wien.
- LACHMAYER, S., NERDEL, C., PRECHTL, H. (2007): Modellierung kognitiver Fähigkeiten beim Umgang mit Diagrammen im naturwissenschaftlichen Unterricht. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften. Jg. 13, S. 161-180.

- LARSON, A. E., WOLLMAN, W. T. (1976): Encouraging the transition from concrete to formal cognitive function - an experiment. *Journal of research in science teaching*, 13/5, S. 413-430.
- LETHMATE, J. (2003): Sind „geographische Experimente“ Experimente?. In: *Praxis Geographie*, 3, S. 42-43.
- LETHMATE, J. (2006): Experimentelle Lehrformen und Scientific Literacy. In: *Praxis Geographie*, 11, S. 4-11.
- LIENERT, G. A., RAATZ, U. (1994): Testaufgaben und Testanalyse. Weinheim.
- LÜER, G., SPADA, H. (1990): Denken und Problemlösen. In: SPADA, H. (Hrsg.): *Lehrbuch Allgemeine Psychologie*. Bern. S. 189-280.
- LYNCH, S., KUIPERS, J., PYKE, C., SZESZE, M. (2005): Examining the Effects of a Highly Rated Science Curriculum Unit on Diverse Students: Results from a Planning Grant. *Journal of Research in Science Teaching*, 42/8, S. 921-946.
- MAIER, U., KLEINKNECHT, M., METZ, K., SCHYMALA, M., BOHL, T. (2010). Entwicklung und Erprobung eines Kategoriensystems für die fächerübergreifende Aufgabenanalyse. Erlangen-Nürnberg.
- MANDL, H. (2003): Problemlösendes Lernen und Lehren. In: *Praxis Schule*, Heft 5, S. 8-11.
- MAYER, J. (2007): Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen. In: KRÜGER, D., VOGT, H. (Hrsg.): *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden*. Berlin, Heidelberg. S. 177-187.
- MAYER, J., GRUBE, C., MÖLLER, A. (2009): Kompetenzmodell naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung. In: HARMS, U., SANDMANN, A. (Hrsg.): *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik. Band 3*. S. 63-81.
- MAYER, J., KEINER, K., ZIEMEK, H. P (2003): Naturwissenschaftliche Problemlösekompetenz im Biologieunterricht. In: BAUER, A. ET AL. (Hrsg.): *Entwicklung von Wissen und Kompetenz im Biologieunterricht*, IPN. Berlin, Kiel. S. 21-24.
- MAYER, J., ZIEMEK, H.P (2006): Offenes Experimentieren. Forschendes Lernen im Biologieunterricht. In: *Unterricht Biologie*, Heft 317, S. 4-12.
- MAYRING, P. (2002): Einführung in die qualitative Sozialforschung. Weinheim, Basel.
- MERGENDOLLER, J.R., MAXWELL, N.L., BELLISIMO, Y. (2006): The effectiveness of problem-based instruction: A comparative study of instructional method and student characteristics. *Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning*, 1, 498-69.

- MIETZEL, G. (1993): Psychologie in Unterricht und Erziehung. Göttingen.
- MILES, M. B., HUBERMAN, A. M. (1994): Qualitative Data Analysis: A Sourcebook of New Methods. Newbury Park.
- MÖNTER, L. O., HOF, S. (2012): Experimente. In: HAVERSATH, J. B. (Mod.): Geographiedidaktik. Braunschweig. S. 289-313.
- NEBER, H. (1996): Psychologische Prozesse und Möglichkeiten zur Steuerung remedialen Lernens: In: WEINERT, F. E. (Hrsg.): Psychologie des Lernens und der Instruktion. 2. Enzyklopädie der Psychologie. Göttingen. S. 403-443.
- NEUENDORF, K. A. (2002): The Content Analysis Guidebook. Thousand Oaks. Chicago.
- NEUHAUS, B., BRAUN, E. (2007): Testkonstruktion und Testanalyse – praktische Tipps für empirisch arbeitende Didaktiker und Schulpraktiker. In: BAYRHUBER, H., ELSTER, D., KRÜGER, D., VOLLMER, H.J. (Hrsg.): Kompetenzentwicklung und Assessment. Innsbruck, Wien, Bozen. S.135-159.
- NEWELL, A. & H.A. SIMON (1972): Human problem solving. Englewood Cliffs (NJ).
- NRC (1996): National Science Education Standards: Download (06.05.2012): http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=4962&page=R1
- OECD (2007): PISA 2006 – Schulleistungen im internationalen Vergleich. Naturwissenschaftliche Kompetenzen für die Welt von morgen. Bielefeld.
- OECD (ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT) (1999). Measuring student knowledge and skills: A new framework for assessment. Paris: OECD. In deutscher Sprache: OECD/DEUTSCHES PISA-KONSORTIUM (Hrsg.) (2000): Schülerleistungen im internationalen Vergleich. Eine neue Rahmenkonzeption für die Erfassung von Wissen und Fähigkeiten. Berlin.
- OTTO, K.-H. (2009): Experimentieren als Arbeitsweise im Geographieunterricht. In: Geographie und Schule, Heft 180, S. 4-15.
- OTTO, K.-H., MÖNTER, L. O., HOF, S. (2011): (Keine) Experimente wagen? In: MEYER, C., HENRÏ, R., STÖBER, C. (Hrsg.): Geographische Bildung: Kompetenzen in Forschung und Praxis. Braunschweig. S. 98-113.
- OTTO, K.-H., MÖNTER, L. O. (2009): Das „Scientific Discovery as Dual Search-Modell“ - eine Theorie für die geographiedidaktische (Kompetenz-)Forschung? In: Geographie und ihre Didaktik. Journal of Geography Education, Jg. 37, S. 136-141.

- OTTO, K.-H., MÖNTER, L. O., HOF, S., WIRTH, J. (2010): Das geographische Experiment im Kontext empirischer Lehr-/ Lernforschung. In: Geographie und ihre Didaktik. Journal of Geography Education, Jg. 38, S. 133-145.
- PESCHEL, F. (2002). Offener Unterricht: Idee – Realität – Perspektive und ein praxiserprobtes Konzept zur Diskussion. Hohengehren.
- PESCHEL, M. (2008): GOFEX – Grundschullabor für Offenes Experimentieren: Download (25.04.2012): <http://www.markus-peschel.de/Material/GOFEX.pdf>
- PETER, C.; HOF, S. (2011): Experimente unter der Lupe! Kompetenzorientiertes Experimentieren im Geographieunterricht. In: geographie heute Heft, Heft 293/294, S. 44-47.
- PETER, C.; HOF, S. (2012): Förderung der Kompetenzen des Experimentierens. Exemplarische Lernaufgaben zum Phänomen Totes Meer - Salzgehalt des Wassers. In: Sache Wort Zahl, Heft 124, S. 36-44.
- PINE, J., ASCHBACHER, P., ROTH, E., JONES, M., MCPHEE, C., MARTIN, C., PHELPS, S., KYLE, T., FOLEY, B. (2006). Fifth graders' science inquiry abilities: A comparative study of students in hands-on and textbook curricula. Journal of Research in Science Teaching, 43/5, S. 467-484.
- PISA-KONSORTIUM (Hrsg.) (2001): PISA 2000. Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich. Opladen.
- PISA-KONSORTIUM (Hrsg.) (2004): PISA 2003. Der Bildungsstand der Jugendlichen in Deutschland – Ergebnisse des zweiten internationalen Vergleichs. Münster.
- PISA-KONSORTIUM (Hrsg.) (2007): PISA 2006. Die Ergebnisse der dritten internationalen Vergleichsstudie. Münster.
- PISA-KONSORTIUM (Hrsg.) (2010): PISA 2009: Bilanz nach einem Jahrzehnt. Münster.
- PRENZEL, M. , ARTELT, C. BAUMERT, J., BLUM, W., HAMMANN, M., KLIEME, E., PEKRUN, R. (2006): PISA 06. Die Ergebnisse der dritten internationalen Vergleichsstudie. Eine Zusammenfassung: Download (23.09.2012): http://pisa.ipn.uni-kiel.de/zusammenfassung_PISA2006.pdf
- PRENZEL, M., PARCHMANN, I. (2003): Kompetenz entwickeln. Vom naturwissenschaftlichen Arbeiten zum naturwissenschaftlichen Denken. In: Unterricht Chemie, 14 Jg., Heft 4, S. 15-17.

- PRIEMER, B. (2011): Was ist das Offene beim offenen Experimentieren? In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften; Jg. 17, S. 312-337: Download (22.06.2012): http://www.ipn.uni-kiel.de/zfdn/pdf/17_Priemer.pdf
- PRÜFER, P., REXROTH, M. (1996): Verfahren zur Evaluation von Survey-Fragen: Ein Überblick. ZUMA-Nachrichten, 39, S. 95-116: Download (12.08.2011): http://www.gesis.org/fileadmin/upload/forschung/publikationen/zeitschriften/zuma_nachrichten/zn_39.pdf
- REINHOLD, P. (1997): Offenes Experimentierens: Ein neuer Ansatz für den Physikunterricht? In: FISCHER, H. E. (Hrsg.): Zur Diskussion gestellt. Handlungsorientiert Physikunterricht der Sekundarstufe II. Vorschläge, Fragen, didaktische Begründungen. Bonn. S. 104-125.
- REINMANN, G., MANDL, H. (2006): Unterrichten und Lernumgebung gestalten. In: KRAPP, A., WEIDENMANN, B. (Hrsg.), Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch. Weinheim. S. 613-658.
- REYNOLDS, A.J. (1991): Effects of an experiment-based physical science programme on cognitive outcomes. Journal of Educational Research, 84/5, S. 296-302.
- RINGEL, G. (2012): Einsatz von Medien. In: HAVERSATH, J. B. (Mod.): Geographiedidaktik. Braunschweig. S. 175-191.
- RINSCHEDI, G. (2007): Geographiedidaktik. Paderborn.
- RÖSSLER, P. (2005): Inhaltsanalyse. Konstanz.
- ROST, D. H. (2007): Interpretation und Bewertung pädagogisch-psychologischer Studien. Eine Einführung. Weinheim.
- SADEH, I., ZION, M. (2012): Which Type of Inquiry Projects Do High School Biology Students Prefer: Open or Guided? Research Science Education, 42/5, S. 831-848.
- SCHECKER, H., PARCHMANN, I. (2006): Modellierung naturwissenschaftlicher Kompetenz. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, Jg. 12, S. 45-66.
- SCHLÖMERKEMPER, J. (2010): Konzepte pädagogischer Forschung. Bad Heilbrunn.
- SCHNELL, R., HILL, P. B., ESSER, E. (2005): Methoden der empirischen Sozialforschung. München.
- SCHROEDER, C. M., SCOTT, T. P., TOLSON, H., HUANG, T.-Y., LEE, Y.-H. (2007). A meta-analysis of national research: Effects of teaching strategies on student achieve-

- ment in science in the United States. *Journal of Research in Science Teaching*, 44, S. 1436– 1460.
- SCHUNK, D. H., ZIMMERMAN, B. J. (2003): Self-regulation and learning. In: REYNOLDS, W. M., MILLER, G. E. (Eds.): *Handbook of Psychology*, Vol. 7.. Educational Psychology. New Jersey. S. 59-78.
- SEDLMEIER, P., RENEKWITZ, F. (2008): *Forschungsmethoden und Statistik in der Psychologie*. München.
- SEIDEL, M., PRENZEL, M., WITTEWERT, J., SCHWINDT, K. (2007). Unterricht in den Naturwissenschaften. IN M. PRENZEL, C. ARTELT, J. BAUMERT, W. BLUM, M. HAMMANN, E. KLIEME ET AL. (Hrsg.), *PISA 2006: Die Ergebnisse der dritten internationalen Vergleichsstudie*. Münster. S. 147-179.
- SHAVELSON, R. J., RUIZ-PROIMO, M. A. (1999): Leistungsbewertung im naturwissenschaftlichen Unterricht. In: *Unterrichtswissenschaft*, 27/2, S. 102-127.
- SHYMANSKY, J. A., HEDGES, L. V., WOODWORTH, G. (1990). A reassessment of the effects of inquiry-based science curricula of the 60's on student performance. *Journal of Research in Science Teaching*, 27, S. 127–144.
- SIMSEK, P., KABAPINAR, F. (2010): The effects of inquiry-based learning on elementary students' conceptual understanding of matter, scientific process skills and science attitudes. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 2, S. 1190-1194.
- SOLGA, H., DOMBROWSKI, R. (2009): Soziale Ungleichheit in schulischer und außerschulischer Bildung: Download (23.05.2011): http://www.boeckler.de/pdf/p_arbp_171.pdf
- STEIN, G. (2012): Sozialpsychologische Perspektiven auf Vielfalt in der Schule. Skript zum Vortrag Universität Duisburg-Essen. Download (08.09.2013): http://www.uni-due.de/biwigst/Vielfalt_Beitrag.pdf
- STRUBE, G.; BECKER, B.; FRESKA, C.; HAHN, U.; OPWIS, K.; PALM, G. (1996): *Wörterbuch der Kognitionspsychologie*. Stuttgart.
- SWANSON, H. L. (1999): *Interventions for students with learning disabilities. A meta-analysis of treatment outcomes*. New York.
- SWELLER, J. (1988): Cognitive load during problem-solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12, S. 257-285.
- SWELLER, J. (2004): Instructional Design Consequences of an Analogy between Evolution by Natural Selection and Human Cognitive Architecture. *Instructional Science*, Vol. 32, S. 9-31.

- TAMIR, P., NUSSINOVITZ, R., FRIEDLER, Y. (1982): The Design and use of a Practical Tests Assessment Inventory. *Journal of Biological Education*, 16/1, S. 42-51.
- TERHART, E. (2000): *Lehr-Lern-Methoden*. Weinheim.
- TOBIN, K., CAPIE, W. (1982): Development and validation of a group test of integrated science processes, *Journal of Research in Science Teaching*, 19/2, S.133–141.
- VOLLMER, H. (2007): Bildungsstandards – und dann? Zum Stand der Diskussion in Deutschland. In: *geographie heute*, Heft 255, S. 84-86.
- VÖLZKE K. , ARNOLD, J. & KREMER, K. (2013): Schüler planen und beurteilen ein Experiment – Denken und Verstehen beim naturwissenschaftlichen Problemlösen. In: *Zeitschrift für interpretative Schul- und Unterrichtsforschung*. 2. Jg., S. 58-86.
- WALPUSKI, M., KAMPA, N., KAUERTZ, A., WELLNITZ, N. (2008): Evaluation der Bildungsstandards in den Naturwissenschaften. In: *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 61/6, S. 323-326.
- WALPUSKI, M., KAUERTZ, A. , KAMPA, N., FISCHER, H. E., MAYER J. SUMFLETH, E., WELLNITZ, N. (2010): ESNas – Evaluation der Standards für die Naturwissenschaften in der Sekundarstufe I. In: GEHRMANN, A. HERICKS, U., LÜDERS, M. (Hrsg.): *Bildungsstandards und Kompetenzenmodelle. Beiträge zu einer aktuellen Diskussion über Schule, Lehrerbildung und Unterricht*. Bad Heilbrunn. S. 163-176.
- WALPUSKI, M., SUMFLETH, E. (2007): Strukturierungshilfen und Feedback zur Unterstützung experimenteller Kleingruppenarbeit im Chemieunterricht. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 13, S. 181-198.
- WEINERT, F. (2001): *Leistungsmessung in Schulen*. Weinheim.
- WEINSTEIN, T., BOULANGER, F. D., WALBERG, H. J (1982): Science curriculum effects in high school. A Quantitative Synthesis. *Journal of research in science teaching*, 19, 511-522.
- WERNING, R., BANNACH, M. (1994): Möglichkeiten des entdeckenden Lernens im Sachunterricht der Primarstufe der Schule für Lernbehinderte. In: SCHMETZ, D.; WACHTEL, P. (1994): *Schüler mit besonderem Förderbedarf. Unterricht mit Lernbehinderten*. Rheinbreitbach.
- WHITE, B.Y., FREDERIKSEN, J. R. (1998). Inquiry, modeling, and metacognition: Making science accessible to all students, *Cognition und Instruction*, 16/1, 3-118.

WILHEMLI, V. (2012): Die experimentelle Lernform. Herausforderung des kompetenzorientierten Geographieunterrichts. In: Praxis Geographie, Heft 7-8, S. 4-8.

WOTTAWA, H., THIERAU, H. (1990): Evaluation. Bern.

ZIEMEK, H.-P.; KEINER, K.; MAYER, J. (2005). Problemlöseprozesse von Schülern der Biologie im naturwissenschaftlichen Unterricht – Ergebnisse quantitativer und qualitativer Studien. In: KLEE, R.; SANDMANN, A.; VOGT, H. (Hrsg.). Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik. Band 2. Innsbruck. S. 29-30.

Anhang I: Messinstrument (Normierungs- und Interventionsstudie)

Liebe Schülerin, lieber Schüler,



in diesem Fragebogen geht es um das *Experimentieren* in den Fächern Sachkunde, Erdkunde oder Gesellschaftslehre. Die Ergebnisse werden selbstverständlich anonym ausgewertet. Ich bitte dich, die Fragen genau zu lesen und dich zu bemühen sie gewissenhaft zu beantworten! Bei manchen Fragen sind mehrere Antworten richtig. Wenn du etwas nicht beantworten kannst, dann rate nicht! Kreuze in diesem Fall das Kästchen „weiß nicht“ an.

| | |
|----------------------------------|---|
| Geschlecht: | <input type="checkbox"/> weiblich <input type="checkbox"/> männlich |
| Alter: | <input type="checkbox"/> Jahre |
| Klassenstufe: | <input type="checkbox"/> Klasse |
| Schulform: | <input type="checkbox"/> Integrierte Gesamtschule/Förderstufe <input type="checkbox"/> Grundschule <input type="checkbox"/> Hauptschule <input type="checkbox"/> Realschule <input type="checkbox"/> Gymnasium <input type="checkbox"/> Mittelstufenschule |
| Noten im letzten Zeugnis: | <input type="checkbox"/> Sachkunde/Erdkunde/Gesellschaftslehre <input type="checkbox"/> Biologie |

Hier erstellst du einen *Code*. Damit bleibt dein Fragebogen anonym.

| | | |
|---|--|--|
| Den zweiten und dritten Buchstaben deines Vornamens Beispiel: Lena = EN | | |
| Der Tag Deines Geburtsdatums Beispiel: 5. September = 05 | | |
| Die ersten beiden Buchstaben des Vornamens Deiner Mutter Beispiel: Name Deiner Mutter: Katrin = KA | | |

Selbsteinschätzung und Fragen zum Experimentieren

| | sehr gut | gut | mittel- mäßig | schlecht | sehr schlecht |
|---|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 Wie schätzt du dein Können im Experimentieren ein? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2 In welchen Unterrichtsfächern hast du bereits experimentiert? Kreuze an. Mehrere Kreuze sind möglich. | Sachkunde <input type="checkbox"/> Biologie <input type="checkbox"/> Erdkunde/Gesellschaftslehre <input type="checkbox"/> Keins <input type="checkbox"/> Weiteres Fach: _____ | | | | |
| | sehr häufig | häufig | manchmal | selten | noch nie |
| 3 Hast du im Unterricht bereits experimentiert? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.1 Hast du im Unterricht selbst Fragestellungen oder Problemfragen zu einem Experiment formuliert? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.2 Hast du im Unterricht schon einmal Vermutungen (Hypothesen) zu einem Experiment formuliert? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.3 Hast du schon einmal ein Experiment selbst geplant und durchgeführt? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.4 Hast du die Ergebnisse eines Experiments schon einmal selbst ausgewertet? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4 Hier kannst du etwas über deine Erfahrungen im Experimentieren aufschreiben: | _____ _____ _____ | | | | |

5 Kreuze die richtige Antwort an:

| 5.1 Beim Experimentieren... | |
|---|--|
| a)...müssen abhängige und unabhängige Variablen (Bedingungen wie Wasser in Milliliter, Boden in Gramm) festgelegt werden. | |
| b)...müssen möglichst viele verschiedene Materialien für den Aufbau des Experiments verwendet werden. | |
| c)...müssen keine abhängigen und unabhängigen Variablen (Bedingungen wie Wasser in Milliliter, Boden in Gramm) festgelegt werden. | |
| d)...müssen immer Lebewesen untersucht werden. | |
| e)...weiß nicht. | |

| 5.2 Experimentieren bedeutet... | |
|--|--|
| a)...eine Fragestellung und Hypothesen (Vermutungen) zu formulieren. Sie werden durch ein Experiment bestätigt oder widerlegt. | |
| b)...viele Fragestellungen und keine Hypothesen (Vermutungen) zu formulieren. Sie werden durch ein Experiment immer bestätigt. | |
| c)...viele Fragestellungen und Hypothesen (Vermutungen) zu formulieren. Sie werden durch ein Experiment immer bestätigt. | |
| d)...keine Fragestellung und keine Hypothesen (Vermutungen) zu formulieren. | |
| e)...weiß nicht. | |

| 5.3 Ein Experiment besteht immer aus folgender Reihenfolge:... | |
|--|--|
| a)...Frage formulieren, Beobachten, Experiment planen und durchführen , Frage widerlegen | |
| b)...Frage formulieren, Experiment planen und durchführen, Hypothesen aufstellen, beobachten und auswerten | |
| b)...beobachten, Experiment durchführen, Hypothesen aufstellen, Ergebnisse auswerten | |
| c)...Frage formulieren, Hypothesen aufstellen, Experiment planen und durchführen, Ergebnisse auswerten. | |
| d)...weiß nicht. | |

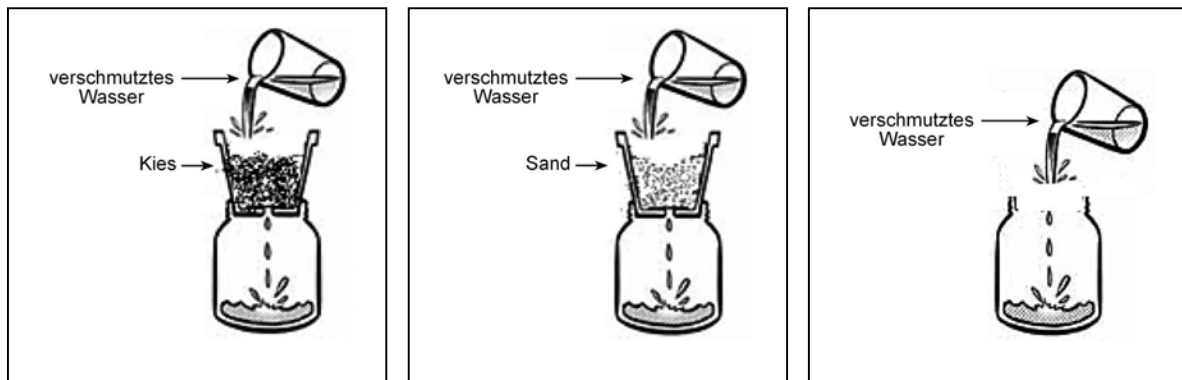
Fragestellungen passend zu einem Experiment formulieren:

A1

Menschen benötigen sauberes Wasser zum Trinken, Kochen und Waschen. Damit genügend Wasser für die Menschen vorhanden ist, müssen große Mengen Wasser aus Flüssen und Seen gefiltert werden, das bedeutet gereinigt werden. Dafür führt die Klasse 4b ein Experiment durch.

Schlamm wird hergestellt. Diese Flüssigkeit wird auf drei Einmachgläser aufgeteilt.

Abb.: verändert nach HELL, K. (2002: 3)



Ansatz A:
Schlamm wird durch
Kies gefiltert.

Ansatz B:
Schlamm wird durch
Sand gefiltert.

Ansatz C:
Schlamm wird
nicht gefiltert.

Welche Fragestellung hat sich die Klasse 4b vor dem Experiment gestellt?

(Eine Antwort ist richtig.)

- a) Sollten die Menschen ihr Wasser vor dem Kochen durch einen Filter laufen lassen? ☐
- b) Hat Boden eine Filterwirkung für verunreinigtes Wasser? ☐
- c) Besteht Boden aus Kies und Sand? ☐
- d) Können Menschen Wasser trinken, das mit Kies und Sand gereinigt wurde? ☐
- e) Weiß nicht. ☐

A2

Ausgelaufenes Öl von alten Autos ist ein großes Problem für die Natur. Es ist gefährlich für Pflanzen und Tiere. Öl und Wasser vermischen sich nicht. Das ausgelaufene Öl schwimmt auf dem Wasser. Die Schülerinnen und Schüler der Klasse 5a möchten eine Möglichkeit untersuchen, wie geringe Mengen Öl von Wasser getrennt werden können.

Dafür füllen sie zwei Schalen mit Wasser und geben jeweils vier Esslöffel Speiseöl dazu.

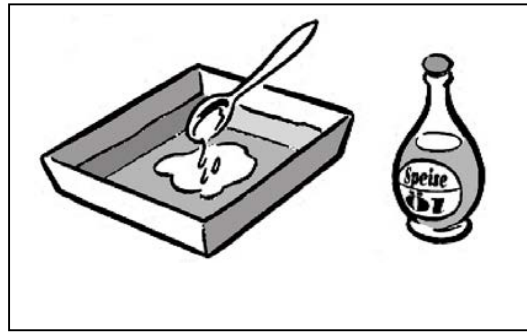
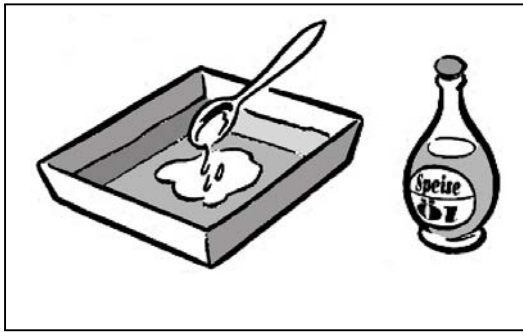
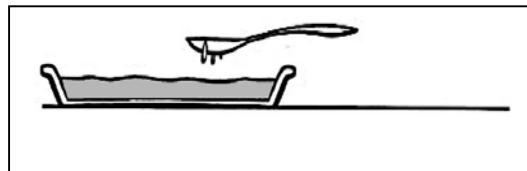
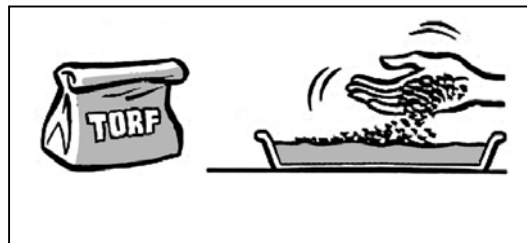


Abb.: verändert nach HELL, K. (2002: 17)

Bei der einen Schale versuchen sie das Öl mit einem Löffel abzuschöpfen.



Bei der zweiten Schale bestreuen sie das schwimmende Öl mit einem Bindemittel (Sägespäne/Torf).



Welche Fragestellung haben sich die Schülerinnen und Schüler vor dem Experiment gestellt? (Eine Antwort ist richtig.)

- a) Vermischen sich Öl und Wasser bei der Zugabe von Bindemitteln?
- b) Sind Bindemittel für die Trennung von Wasser und Öl notwendig?
- c) Schwimmt Öl auf Wasser?
- d) Schwimmt Wasser auf Öl?
- e) Weiß nicht.

☐
☐
☐
☐
☐

A3

In heißen Regionen regnet es wenig. Darum müssen die Bauern ihren Pflanzen auf den Feldern Wasser geben. Dabei versickert ein Teil des Wassers in den Boden. Es läuft in den Untergrund. Salzteilchen lösen sich im Wasser. Das Wasser im Untergrund wird salzig. Das Wasser aus dem Untergrund kann wieder bis zur Bodenoberfläche gesogen werden.

Er baut folgendes Experiment auf:

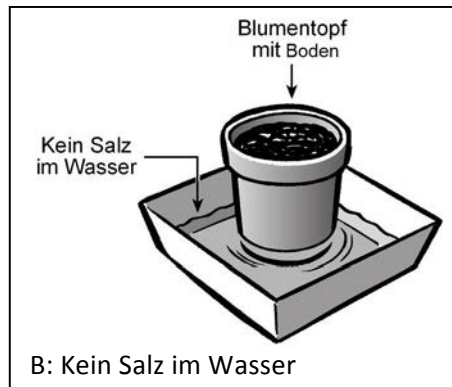
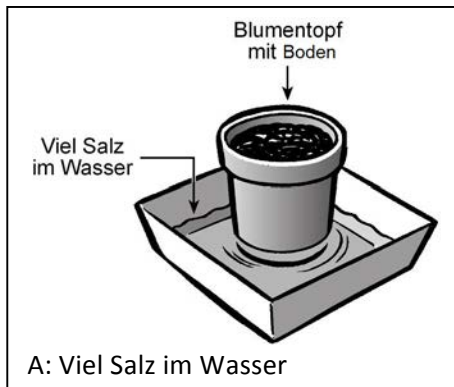


Abb.: verändert nach HELL, K. (2002: 11)

Tim lässt die zwei Experimentaufbauten eine Woche an einem warmen Ort stehen. Dann holt er die Blumentöpfe aus den Schalen. Er wartet, bis der Boden getrocknet ist. Sind weiße Verfärbungen in dem Boden und an der Oberfläche zu sehen, wurde Salz angesogen.

Welche Fragestellung hat Tim mit den Ansätzen untersucht? (Eine Antwort ist richtig.)

a) Wird Salz im Wasser durch die Saugkraft des Bodens in den Untergrund gesogen?

☐

b) Werden geringe Mengen Wasser durch die Saugkraft des Bodens vom Untergrund bis an die Bodenoberfläche gesogen?

☐

c) Wird Salz (im Wasser gelöst) durch die Saugkraft des Bodens bis an die Bodenoberfläche gesogen?

☐

d) Wird das Wasser ohne Salz schneller an die Bodenoberfläche aufgesogen als das Wasser mit viel Salz?

☐

e) Weiß nicht.

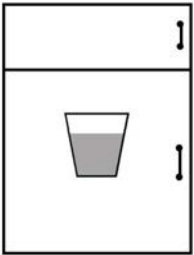
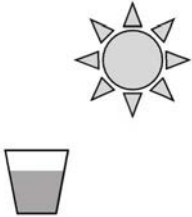

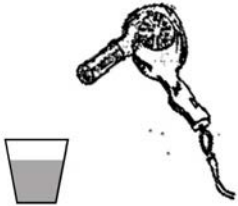
☐

B) Hypothesen (Vermutungen) formulieren:

B1

Wasser verschwindet. Ihr kennt das von nassen Haaren, die trocken werden. Dies nennt man Verdunsten. Wie schnell Wasser verdunstet, ist abhängig von Temperatur und Wind. Die Klasse 5c untersucht, unter welchen Bedingungen Wasser schneller verdunstet.

Dafür werden vier gleich große Gläser mit gleich viel Wasser gefüllt. Sie werden an verschiedene Orte gestellt. Anschließend stoppen die Schüler die Zeit, in der das Wasser verdunstet (verschwindet).

| | | | |
|--|---|--|---|
|  <p>1) Glas mit 100 ml Wasser wird in den Kühlschrank gestellt.</p> |  <p>2) Glas mit 100 ml Wasser wird an einen warmen Ort gestellt.</p> |  <p>3) Glas mit 100 ml Wasser wird bei Raumtemperatur (20°C) stehen gelassen.</p> |  <p>4) Auf das Glas mit 100 ml Wasser wird ein Föhn gerichtet. <i>Abb.: nach LINZ (2010)</i></p> |
|--|---|--|---|

Gemessene Zeit, in der das Wasser verdunstet:

Kühlschrank

warmer Ort

normale Temperatur

unter einem Föhn

Gar nicht**12 Stunden****24 Stunden****4 Stunden**

Welche Hypothesen (Vermutungen) möchte die Klasse 5c bei diesem Experiment überprüfen?

(Zwei Antworten sind richtig).

- | | |
|---|--------------------------|
| 1) Je größer das Glas ist, desto schneller verdunstet Wasser. | <input type="checkbox"/> |
| 2) Die Glasgröße hat keinen Einfluss auf die Verdunstungsgeschwindigkeit. | <input type="checkbox"/> |
| 3) Temperatur und Wind haben keinen Einfluss auf die Verdunstungsgeschwindigkeit. | <input type="checkbox"/> |
| 4) Je wärmer und windiger es ist, desto schneller verdunstet das Wasser. | <input type="checkbox"/> |
| 5) Weiß nicht. | <input type="checkbox"/> |

B2

Regenwasser verschwindet nach einem Regenfall im Boden. Es versickert. An anderen Stellen tritt das Wasser in Form einer Quelle wieder an die Bodenoberfläche. Somit muss das versickerte Wasser unter der Erde auf Schichten treffen. Die Schichten lassen das Wasser nicht gut durchlaufen. Leonie möchte die Bodenschichten genauer untersuchen. Sie fragt sich, welche Bodenarten Wasser nur sehr langsam versickern lassen.

Sie plant folgendes Experiment: Sie füllt drei Einmachgläser mit folgenden Materialien und schüttet jeweils 300 ml Wasser darüber:

Ansatz A:
mittelkörnige
Blumenerde (400g)

Ansatz B:
grobkörniger
Sand (400g)

Ansatz C:
feinkörniger
Lehm (400g)

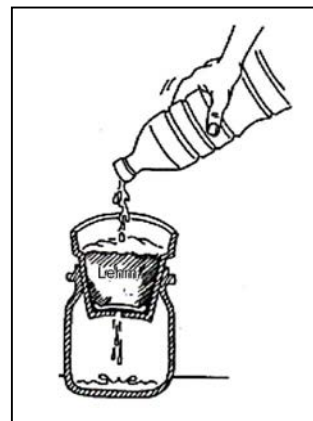
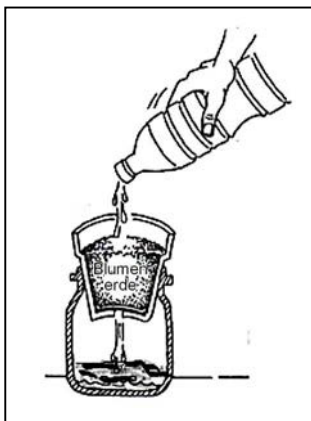


Abb.: verändert nach HELL, K. (2001: 15)

Welche Hypothesen (Vermutungen) möchte Leonie bei diesem Experiment überprüfen?

(Zwei Antworten sind richtig.)

- a) Je mehr Boden (in Gramm) verwendet wird, desto weniger Wasser fließt durch. ☐
- b) Je feinkörniger die Bodenform ist, desto weniger Wasser fließt durch. ☐
- c) Die Körnigkeit des Bodens hat keinen Einfluss auf die durchfließende Wassermenge. ☐
- d) Die Bodenmenge (in Gramm) hat keinen Einfluss auf die durchfließende Wassermenge. ☐
- e) Weiß nicht. ☐

B3

Manchmal regnet es lange Zeit nicht. Trotzdem erhalten Pflanzen zum Überleben genug Wasser aus der Erde. Dieses Phänomen soll untersucht werden.

Lena vermutet etwas. Der Boden saugt Wasser aus tieferen Bodenschichten auf. Das Experiment soll dies beweisen. Mit dem Experiment soll untersucht werden, ob der Boden das Wasser aus der Schale aufsaugt.

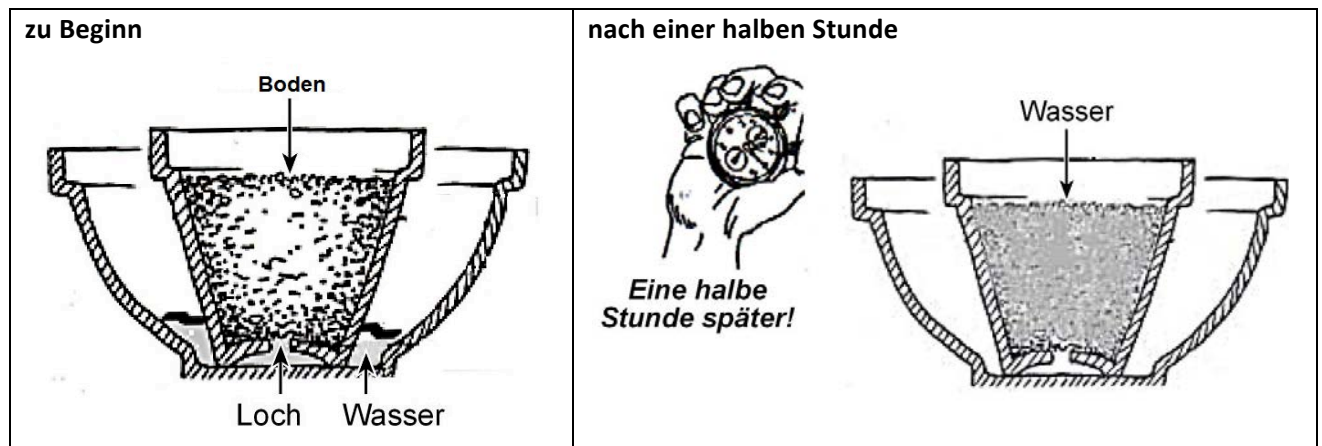


Abb.: verändert nach HELL, K. (2001: 3)

Welche Hypothesen (Vermutungen) können mit dem Experiment überprüft werden?

(Zwei Antworten sind richtig.)

- a) Der Boden muss immer feucht sein. ☐
- b) Boden saugt Wasser bis an die Oberfläche. ☐
- c) Der Blumentopf trennt das Wasser von dem Boden. ☐
- d) Boden saugt Wasser nicht bis an die Oberfläche. ☐
- e) Weiß nicht. ☐

C) Experimente **planen**:

C1

Menschen schwimmen im Toten Meer. Sie bleiben an der Wasseroberfläche ohne Schwimmbewegungen durchzuführen. Lara vermutet, dass es an dem hohen Salzgehalt des Wassers im Toten Meer liegt!

Sie führt ein Experiment durch:

Sie füllt ein Glas mit **Salzwasser** und legt ein **rohes Ei** hinein.
Das erkennst du auf der Abbildung.



Um Ihre Hypothesen (Vermutungen) zu überprüfen, braucht sie einen weiteren Kontrollansatz. Welchen sollte sie nehmen? (Eine Antwort ist richtig.)

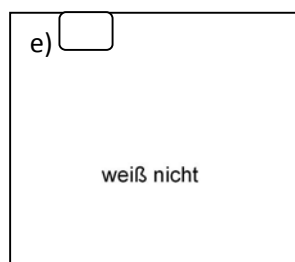
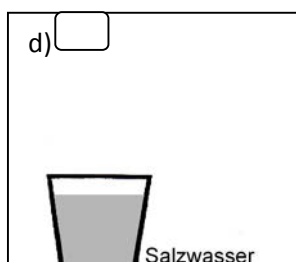
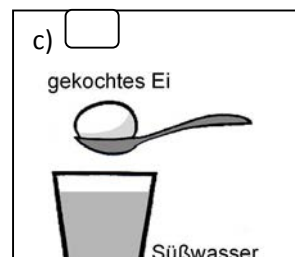
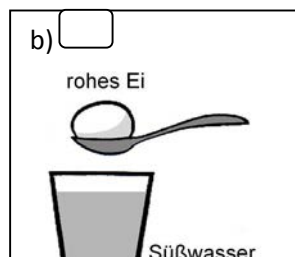
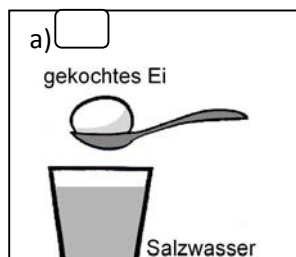
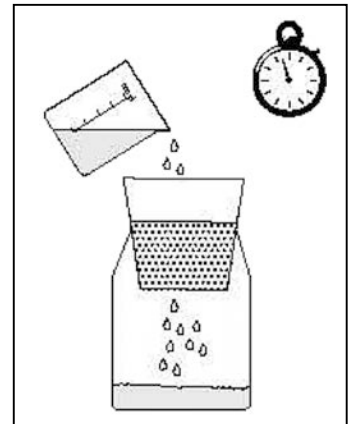


Abb.: verändert nach HELL, K. (2002: 13)

C2

Im Geographieunterricht wird das Thema „Bodenverdichtung und deren Folgen“ behandelt. Ein Experiment wird geplant. Ziel ist die Überprüfung, ob die Verdichtung des Bodens einen Einfluss auf die Versickerung des Oberflächenwassers hat. Dazu wird eine Bodenprobe mit 150 g Gewicht in einen Trichter gefüllt. Mit einem Stampfer wird Druck ausgeübt und der Boden verdichtet. Anschließend werden 200 ml Wasser in den Trichter gegeben. Nach 1, 5 und 10 Minuten wird die durchgeflossene Wassermenge im Becherglas exakt bestimmt (s. Skizze). Um das Experiment wissenschaftlich korrekt durchzuführen, benötigt die Klasse noch einen zweiten Ansatz zur Kontrolle.



Welchen Ansatz sollte die Klasse auswählen? (Eine Antwort ist richtig.)

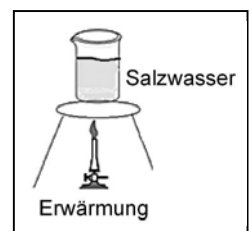
- a) Verdichtete Bodenprobe (150 g), 200 ml Wasser, Messzeitpunkt: nach 10 Minuten ☐
- b) Unverdichtete Bodenprobe (150 g), 200 ml Wasser, Messzeitpunkte: 1, 5 und 10 Minuten ☐
- c) Verdichtete Bodenprobe (150 g), 200 ml Wasser, Messzeitpunkte: 1, 5 und 10 Minuten ☐
- d) Unverdichtete Bodenprobe (200 g), 150 ml Wasser, Messzeitpunkte: 1, 5 und 10 Minuten ☐
- e) Weiß nicht ☐

Quelle: verändert nach: OTTO, K. H., MÖNTER, L. O., HOF, S. & J. WIRTH (2010): Das geographische Experiment im Kontext empirischer Lehr-/Lernforschung. In: Geographie und ihre Didaktik. Journal of Geography Education. 3, S. 112

C3

Der Aralsee trocknet langsam aus. Es handelt sich hierbei um einen See mit einem sehr hohen Salzgehalt. Auf dem Boden der ausgetrockneten Bereiche ist ein weißer Belag zu sehen.

Luca vermutet, dass das Salz aus dem verdunsteten Salzwasser den weißen Belag bildet. Er plant ein Experiment: Salzwasser wird durch einen Bunsenbrenner zum Kochen und dadurch zum Verdunsten gebracht. Dies erkennst du auf der oberen Abbildung.



Um seine Hypothesen (Vermutungen) zu überprüfen und vergleichen zu können, braucht Luca einen Kontrollansatz. Welchen sollte er nehmen?

| | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---|
| <p>a)</p> | <p>b)</p> | <p>c)</p> | <p>d)</p> | <p>e)</p> <p style="text-align: center;">weiß nicht</p> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Abbildungen verändert nach COMMONS (2011) & ANJA (2011)

D) Ergebnisse aus einem Experiment **auswerten**:

D1

Pflanzen benötigen Wasser zum Leben. Die Wurzeln ziehen das Wasser aus dem Boden. Unterschiedliche Bodenarten speichern unterschiedlich große Wassermengen. Einige speichern viel Wasser und einige speichern wenig Wasser. Die Klasse 6a untersucht, welche Bodenart wie viele Tassen Wasser speichern kann.

Eine Schülerin plant und führt folgendes Experiment durch.









| | Bodenprobe 1 Lehm | Bodenprobe 2 Sand | Bodenprobe 3 Gartenerde | Bodenprobe 4 Kies |
|--|---|---|--|---|
| eingegossene Wassermenge |  |  |  |  |
| herausgeflossene Wassermenge nach einer Minute |  |  |  |  |

Abb.: Gefäße verändert nach HELL, K. (2001: 15), Abb.: Tassen verändert nach LERCHENFELD (2011)

Welche Aussagen können aus dem Experiment getroffen werden?

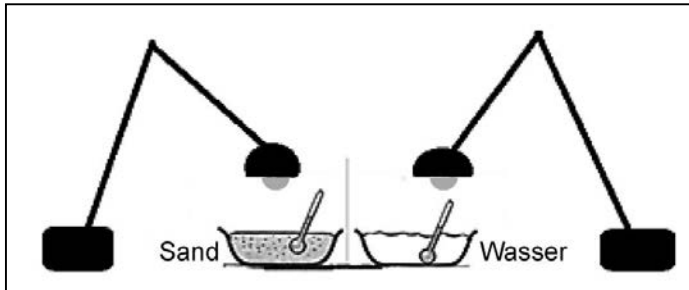
(Zwei Antworten sind richtig.)

- 1) Lehm speichert das meiste Wasser.
- 2) Gartenerde speichert das wenigste Wasser.
- 3) Kies speichert das meiste Wasser.
- 4) Kies speichert das wenigste Wasser.
- 5) Weiß nicht.

☐☐☐☐☐

D2

Wasser speichert Wärme bis in große Tiefen. Boden hingegen gibt Wärme schneller wieder ab. Anna führt ein Experiment durch. Das Experiment zeigt die unterschiedliche Erwärmung und Abkühlung von Wasser und Land.



Sie kommt zu folgenden Ergebnissen:

| | Sand | Wasser |
|----------------------------|-------|--------|
| Zu Beginn des Experimentes | 20 °C | 20° C |
| | 35° C | 50° C |
| | 20° C | 38° C |

Welche Aussagen kann Anna aus dem Experiment ziehen?

(Zwei Antworten sind richtig.)

- 1) Wasser erwärmt sich schneller als Sand und kühlt langsamer wieder ab.
- 2) Sand erwärmt sich schneller als Wasser und kühlt langsamer wieder ab.
- 3) Wasser erwärmt sich langsamer als Sand und kühlt langsamer wieder ab.
- 4) Sand erwärmt sich langsamer als Wasser und kühlt schneller wieder ab.
- 5) Weiß nicht.

☐
☐
☐
☐
☐

D3

Für ein gutes Pflanzenwachstum muss einiges beachtet werden. Durch unterschiedliche Bodenarten kann Wasser unterschiedlich schnell durchlaufen. Kann Wasser nur sehr langsam durchlaufen, dann wird der Boden zu nass. Kann Wasser zu schnell durchlaufen, dann wird der Boden zu trocken.

Lukas möchte untersuchen, durch welche Bodenarten Wasser schnell und durch welche Wasser nur schlecht durchlaufen kann. Er wartet zehn Minuten und stoppt die Zeit:

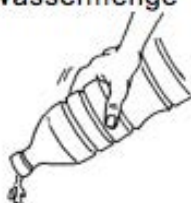




| | Bodenprobe 1 feste Gartenerde | Bodenprobe 2 Sand | Bodenprobe 3 Lehm |
|--|--|---|--|
| eingegossene Wassermenge  |  |  |  |
| Zeit, bis das Wasser durchgelaufen ist.  | 7 Minuten | 3 Minuten | gar nicht |

Abb.: verändert nach HELL, K. (2001: 15)

Welche Aussagen kann Lukas aus dem Experiment ziehen?

(Zwei Antworten sind richtig.)

- 1.) Durch Gartenerde läuft Wasser am schnellsten.
- 2.) Durch Sand läuft Wasser am schnellsten.
- 3.) Durch Lehm läuft Wasser am schnellsten.
- 4.) Durch Lehm läuft Wasser am schlechtesten.
- 5.) Weiß nicht.

☐
☐
☐
☐
☐

Kreuze die richtige Antwort an!

| | |
|---|--------------------------|
| E1 Gartenerde kann... | |
| a)...Wasser nicht speichern, da es keine Körnigkeit besitzt. | <input type="checkbox"/> |
| b)...Wasser gut speichern, da es sehr grobkörnig ist. | <input type="checkbox"/> |
| c)...Wasser nicht speichern, da es feinkörnig ist. | <input type="checkbox"/> |
| d)...Wasser gut speichern, da es nicht grobkörnig ist. | <input type="checkbox"/> |
| e)...weiß nicht. | <input type="checkbox"/> |
| E2 Bei geringem Regen erhalten Pflanzen trotzdem genügend Wasser zum Überleben,... | |
| a)...da das Wasser unterhalb des Bodens im Untergrund fließt. | <input type="checkbox"/> |
| b)...da Boden nie ausreichend Wasser speichern kann. | <input type="checkbox"/> |
| c)...da Boden Wasser aus dem Untergrund bis an die Bodenoberfläche ziehen kann. | <input type="checkbox"/> |
| d)...da Boden Wasservorräte an der Bodenoberfläche ansammelt. | <input type="checkbox"/> |
| e)...weiß nicht. | <input type="checkbox"/> |
| E3 Die Menschen des Punjab haben Probleme mit Bodenversalzung aufgrund... | |
| a)...der Bewässerung. Salzteilchen lösen sich im Boden und werden durch die Kapillarkraft des Bodens bis zur Erdoberfläche gezogen. | <input type="checkbox"/> |
| b)...des starken Regens. Der Regen spült das Meerwasser auf die Felder, sodass sich ein weißer Belag auf dem Boden bildet. | <input type="checkbox"/> |
| c)...der hohen Sonneneinstrahlung. Die Wärme der Sonne verändert das Süßwasser und es bildet sich eine Salzkruste an der Erdoberfläche. | <input type="checkbox"/> |
| d)...des starken Windes. Er transportiert Salz von den Küstenregionen in das Gebiet und das Salz lagert sich auf dem Boden ab. | <input type="checkbox"/> |
| e)...weiß nicht. | <input type="checkbox"/> |
| E4 Der Aralsee trocknet langsam aus. | |
| a) Dadurch bildet sich eine Schlammschicht auf der Bodenoberfläche und die Landwirtschaft der Bauern wird erschwert. | <input type="checkbox"/> |
| b) Dadurch erhöht sich der Salzgehalt im Wasser. Das Wasser verdunstet (verschwindet) und Salzböden bleiben zurück. | <input type="checkbox"/> |
| c) Dadurch entstehen größere landwirtschaftliche Flächen für die Bauern und sie können mehr auf ihren Feldern anbauen. | <input type="checkbox"/> |
| d) Dadurch können die Bewohner besser fischen. Die Fische schwimmen in einem kleineren See und können besser gefangen werden. | <input type="checkbox"/> |
| e) Weiß nicht. | <input type="checkbox"/> |
| E5 Menschen schwimmen ohne Schwimmbewegungen im Toten Meer, | |
| a)...weil die Sonne das Süßwasser stark erhitzt hat. | <input type="checkbox"/> |
| b)...weil der hohe Salzgehalt die Tragfähigkeit des Wassers erhöht. | <input type="checkbox"/> |
| c)...weil das Süßwasser die Tragfähigkeit der Menschen erhöht. | <input type="checkbox"/> |
| d)...weil die Menschen im Toten Meer durch das Salzwasser leichter werden. | <input type="checkbox"/> |
| e)...weiß nicht. | <input type="checkbox"/> |
| E6 Das Wasser der Ostsee hat unterschiedliche Salzgehalte. In der unteren Wasserschicht.... | |
| a)...ist mehr Süßwasser. | <input type="checkbox"/> |
| b)...ist Salzwasser mit wenig Salzgehalt. | <input type="checkbox"/> |
| c)...ist das Salzwasser mit viel Salzgehalt | <input type="checkbox"/> |
| d)...sind Süß- und Salzwasser. | <input type="checkbox"/> |
| e)...weiß nicht. | <input type="checkbox"/> |

Bild- und Literaturverzeichnis:

- COMMONS (3.5.2011)
<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/33/Becherglas.svg/220px-Becherglas.svg.png>
- ANJA (3.5.2011) <http://www.rrr.de/anja/umaterial/pics/bunsenbrenner.jpg>
- LINZ (28.09.2010): <http://www.ph-linz.at/veoe/U4/foen.gif>
- HELL, K. (2001): *Boden. Experimente aus dem Küchenschrank*. Gotha.
- HELL, K. (2002): *Wasser. Experimente aus dem Küchenschrank*. Gotha.
- HELL, K. (2002): *Wetter (2). Experimente aus dem Küchenschrank*. Gotha.
- OTTO, K. H., MÖNTER, L. O., HOF, S. & J. WIRTH (2010): *Das geographische Experiment im Kontext empirischer Lehr-/ Lernforschung*. In: *Geographie und ihre Didaktik. Journal of Geography Education*. Heft 3, S. 112
- LERCHENFELD (18.10.2011): <http://www.vskrems-lerchenfeld.ac.at/arbeitsmaterialien/anlautbilder/tasse.jpg>

Anhang II: Unterrichtseinheit (Versuchsgruppe)

Sequenz 1: Boden speichert Wasser

Einstiegsfolie (Folie 1)



Abb.: http://members.aon.at/tfladl/seite_5.htm

Sequenz 1: Boden speichert Wasser

AB 1 Speichern verschiedene Bodenarten unterschiedlich viel Wasser?

Pflanzen benötigen Wasser zum Leben. Die Wurzeln ziehen das Wasser aus dem Boden. Unterschiedliche Bodenarten speichern unterschiedlich große Wassermengen. Einige speichern viel Wasser und einige speichern wenig Wasser. Die Klasse 6a stellt die Frage:









Speichern unterschiedliche Bodenarten unterschiedlich viel Wasser?

Sie stellen folgende Hypothesen (Vermutungen) auf:

Hypothese (1): Je feinkörniger der Boden, desto mehr Wasser wird gespeichert.

Gegenhypothese (0): Die Bodenart hat keinen Einfluss auf die Wasserspeicherung.

Das folgende Experiment wird aufgebaut:

| | Bodenprobe 1 Lehm (300 g) | Bodenprobe 2 Sand (300 g) | Bodenprobe 3 Blumenerde (300 g) | Bodenprobe 4 Kies (300 g) |
|---|---|---|--|---|
| eingegossene Wassermenge jeweils 200 ml |  |  |  |  |
| ausgeflossene Wassermenge nach einer Minute |  |  |  |  |

Beobachtung: Bei grobkörnigem Kies laufen vier von vier Tassen Wasser durch. Bei feinkörnigem Lehm läuft nur eine Tasse Wasser durch.

Auswertung: Der grobkörnige Kies speichert am wenigsten Wasser. Der feinkörnige Lehm hingegen am meisten. Somit kann Hypothese (1) bestätigt werden. Zusammenfassend kann man sagen, dass feinkörniger Boden Wasser besser speichern kann als grobkörniger Boden.

Aufgabe: Lies aufmerksam das Experiment zum Thema „Boden speichert Wasser“. Schneide danach die Kästchen von AB 2 aus. Klebe sie in der richtigen Reihenfolge auf das Ablaufschema von AB 3 auf. Es muss der richtige Verlauf eines Experiments entstehen.

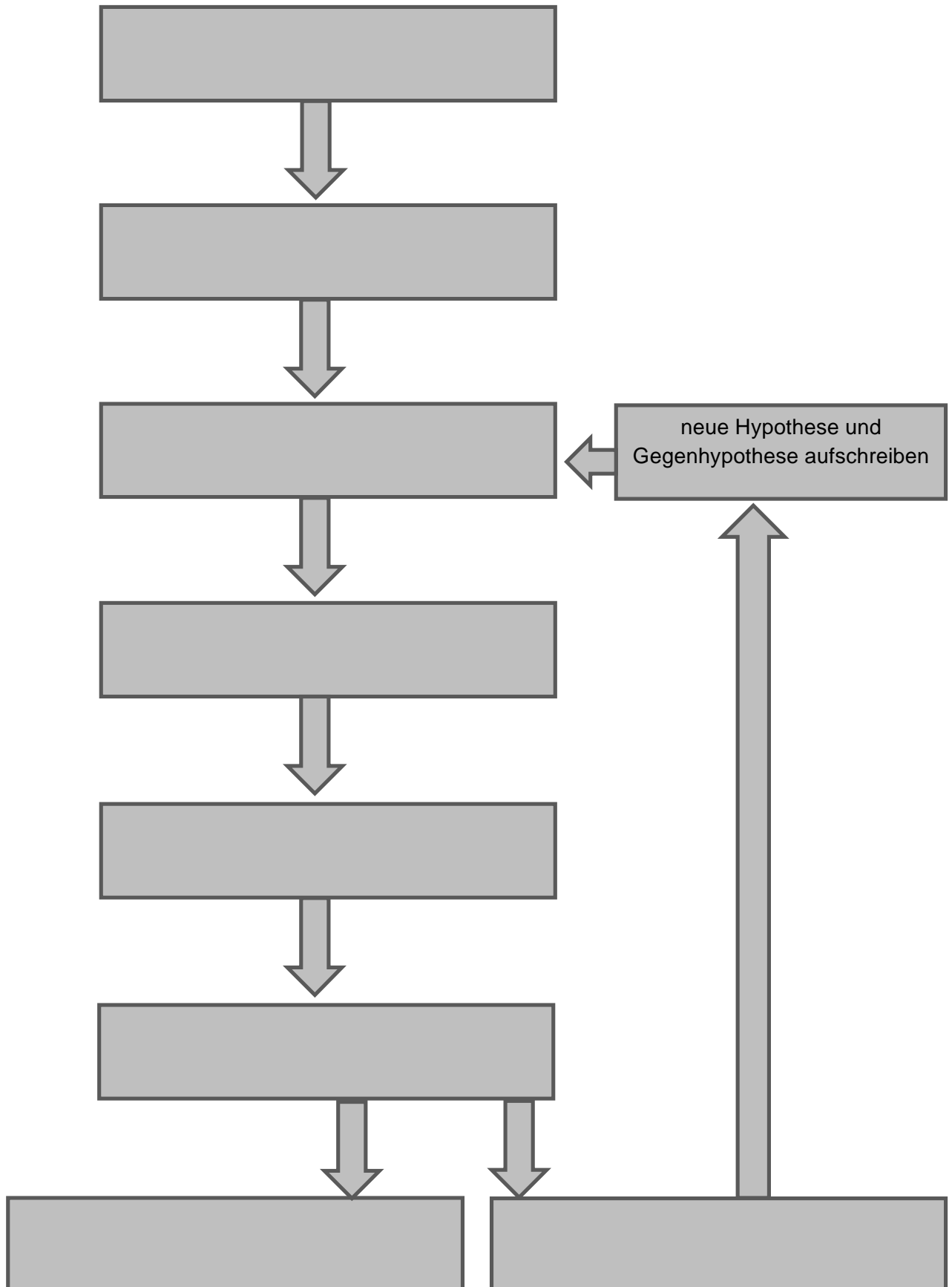
AB 2

Verlauf eines wissenschaftlichen Experiments

- 1 Schneide die Felder an den gestrichelten Linien aus.
- 2 Finde heraus, in welcher Reihenfolge Naturwissenschaftler vorgehen können.
- 3 Ordne die ausgeschnittenen Kärtchen in der richtigen Reihenfolge in das Schema ein.
- 4 Klebe sie nach der gemeinsamen Besprechung auf.

| | |
|---|---|
| etwas Interessantes beobachten | Experiment planen und dann durchführen |
| Ergebnisse auswerten | Hypothese (Vermutung) bestätigt |
| Hypothese (Vermutung) nicht bestätigt | Frage formulieren |
| Hypothese (Vermutung) und Gegenhypothese (Gegenvermutung) aufschreiben | beobachten und Ergebnisse aufschreiben |

AB 3

Ablaufschema eines wissenschaftlichen Experiments

Sequenz 2: Kapillarkraft des Bodens

Einstiegsfolie (Folie 2)



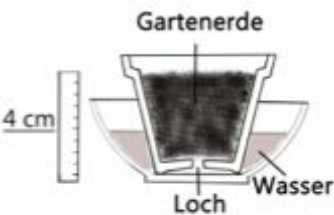
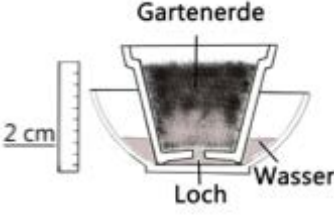
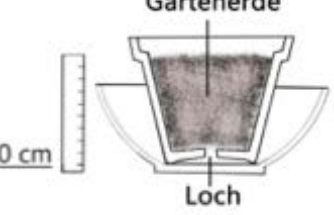
Abb.: <http://www2.ufz.de/index.php?de=21902>

AB 4

Fragestellung formulieren

Manchmal regnet es lange Zeit nicht. Trotzdem erhalten Pflanzen zum Überleben genug Wasser aus dem Boden. Dieses Phänomen (man nennt es Kapillarkraft des Bodens) wird untersucht.

Ein Blumentopf wird mit 300 g Gartenerde gefüllt und in eine Schale gestellt. Anschließend werden 200 ml Wasser in die Schale gefüllt. Der Wasserstand in der Schale wird gemessen und entspricht zu Beginn des Experiments 4 cm (vom Boden gemessen).

| Messzeitpunkt: | |
|----------------------------|--|
| 1 - zu Beginn |  |
| 2 - nach 15 Minuten |  |
| 3 - nach 30 Minuten |  |

Eine überprüfbare Frage formulieren:

- 1 Beschreibe genau, was du siehst.
- 2 Was wollen die Forscher herausfinden?
- 3 Formuliere dies in einer Frage. Verwende nicht das Wort *warum* in deiner Frage.
- 4 Sie muss mit einem Experiment überprüft werden können.

Welche Fragestellung kann mit diesem Experiment überprüft werden?

Formuliere eine passende Fragestellung:

Sequenz 3: Kapillarkraft des Bodens

AB 5

Regeln zum Aufstellen von Hypothesen (Vermutungen):

Hypothesen sind begründete Vermutungen!

- 1) Hypothesen werden als Aussage aufgeschrieben.
- 2) Hypothesen müssen sich auf die Frage beziehen.
- 3) Die Frage muss durch die Hypothesen zu überprüfen sein.
- 4) Die Hypothese muss die zu untersuchenden Bedingungen beinhalten.
- 5) Es muss immer eine Gegenhypothese aufgestellt werden.

*Tipp: Hypothese (1): Je....desto....Sätze können helfen.**Wenn....dann... Sätze können helfen.**Gegenhypothese (0):hat keinen Einfluss auf.....***Schreibe die Hypothesen (Vermutungen) als Aussagen auf:**

Hypothese (1): Je _____ im feuchten Untergrund steht, desto _____ wird aufgesaugt.

Gegenhypothese (0): _____ hat keinen Einfluss auf _____ .

Sequenz 5: Bodenversalzung durch Bewässerung

Einstiegsfolien (Folie 3)



Abb.: <http://www.geo.de/GEO/technik/54993.html?t=img&p=1>



Abb.: http://edoc.hu-berlin.de/dissertationen/gebauer-jens-2003-06-05/HTML/Gebauer_html_7dd9109c.jpg

AB 6

Bodenversalzung durch Bewässerung - Fragestellung formulieren

In heißen Regionen müssen die Bauern ihre Pflanzen auf den Feldern bewässern, da es zu wenig regnet. Eine solche Region ist Punjab im Industriefland. Dabei versickert ein Teil des Bewässerungswassers in den Boden. Auf diesem Weg lösen sich Salzteilchen aus dem Boden und das Wasser ist salzig, wenn es in den unteren Schichten ankommt. Da Boden eine ähnliche Wirkung wie ein Schwamm hat (Kapillarkraft), kann das Wasser mit dem darin gelösten Salz wieder von den unteren Bodenschichten bis zur Bodenoberfläche gesogen werden. Ein weißer Belag ist an der Oberfläche zu sehen.

Tim macht dazu ein Experiment:

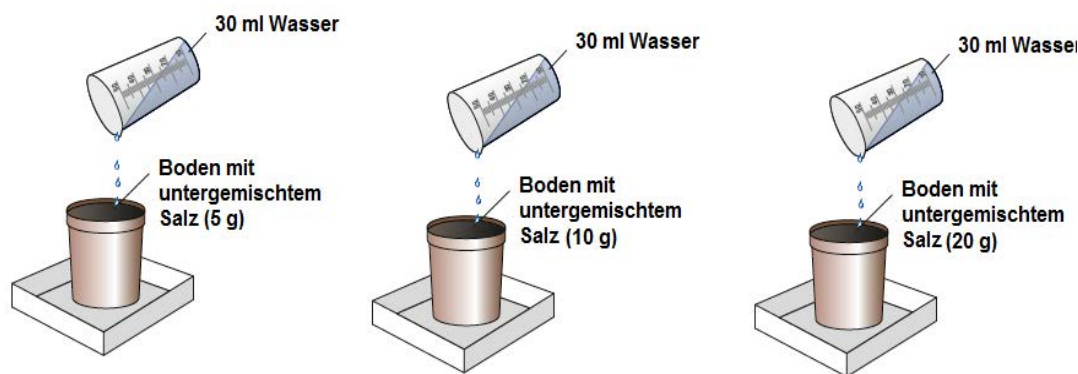


Abb. verändert nach (Peter, Hof 2011; S. 45)

Welche Fragestellung will er mit dem Experiment überprüfen?

AB 7

Bodenversalzung durch Bewässerung – Hypothesen formulieren

Tim möchte mit einem Experiment die Fragestellung überprüfen. Dafür muss er eine Hypothese (1) und eine Gegenhypothese (0) passend zu der Fragestellung formulieren.

Schreibe die Hypothesen als Aussagen auf:

Hypothese (1): _____

Gegenhypothese (0): _____

AB 8

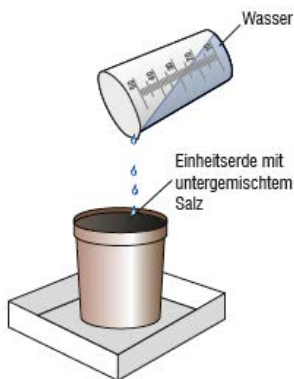
Bodenversalzung durch Bewässerung – Planung und Durchführung (Teil I)

Abb. verändert nach (Peter, Hof 2011; S. 45)

Aufgaben

1. Schreibe zunächst die Fragestellung und Hypothesen nochmals auf.

Fragestellung: _____

Hypothese (1): _____

Gegenhypothese (0): _____

Variablen sind die Faktoren (Bedingungen), die das Experiment beeinflussen, z.B. die Wassermenge (in ml) oder die Salzmenge (in g). Es werden abhängige und unabhängige Variablen unterschieden. In einem Experiment musst du diese bestimmen:

- a) Überlege, was du messen oder beobachten möchtest. Das ist dann die abhängige Variable. Sie wurde bereits in der Fragestellung genannt.
- b) Überlege, welche weiteren Variablen (z.B. Bodenmenge) es gibt. Das sind die unabhängigen Variablen.

2. Bestimme nun die abhängige Variable und die unabhängigen Variablen. Betrachte dafür den Experimentalaufbau und deine Hypothesen!

Das wollen wir messen/beobachten

(abhängige Variable):

| |
|--|
| |
|--|

...ist abhängig von...

...und wird beeinflusst von

(unabhängige Variablen):

| |
|--|
| |
| |
| |
| |

Sequenz 5: Bodenversalzung durch Bewässerung

AB 9

Bodenversalzung durch Bewässerung – Planung und Durchführung (Teil II)

Fragestellung: _____

Aufgabe: In Form einer Tabelle machen Lara, Tim und Maria einen Plan für die Untersuchung. Sie haben vermutet, dass die Entstehung des weißen Belags von der Salzmenge abhängt.

Das bedeutet für das Experiment, die Salzmenge muss in verschiedenen Experimenten verändert werden (unabhängige Variable). Du planst dabei z.B. drei Experimentaufbauten mit immer unterschiedlichen Salzmengen im Boden.

Die anderen unabhängigen Variablen (Boden in Gramm, Wassermenge in ml und Zeit in Stunden) dürfen jedoch nicht verändert werden. Sie müssen immer gleich bleiben und werden dadurch kontrolliert. Sie werden dann als **Kontrollvariablen** bezeichnet.

Überlege, mit welchem Experimentierplan man herausfinden kann, ob die Salzmenge im Boden Einfluss auf die Bodenversalzung (sichtbarer weißer Belag auf der Bodenoberfläche) hat. Führe den richtigen Experimentierplan aus.

| Laras Plan | | | | |
|--|--|-------------------|-----------------------|--|
| Unabhängige Variable | Abhängige Variable | Kontrollvariablen | | |
| <i>untergemischte Salzmenge im Boden (g)</i> | <i>sichtbarer weißer Belag auf der Bodenoberfläche</i> | <i>Boden (g)</i> | <i>Zeit (Stunden)</i> | <i>aufgeschüttete Wassermenge (ml)</i> |
| 0 | | 50 | 24 | 20 |
| 5 | | 50 | 24 | 30 |
| 20 | | 100 | 48 | 40 |

| Tims Plan | | | | |
|--|--|-------------------|-----------------------|--|
| Unabhängige Variable | Abhängige Variable | Kontrollvariablen | | |
| <i>untergemischte Salzmenge im Boden (g)</i> | <i>sichtbarer weißer Belag auf der Bodenoberfläche</i> | <i>Boden (g)</i> | <i>Zeit (Stunden)</i> | <i>aufgeschüttete Wassermenge (ml)</i> |
| 20 | | 50 | 24 | 30 |
| 20 | | 50 | 24 | 30 |
| 20 | | 50 | 24 | 30 |

| Marias Plan | | | | |
|--|--|-------------------|-----------------------|--|
| Unabhängige Variable | Abhängige Variable | Kontrollvariablen | | |
| <i>untergemischte Salzmenge im Boden (g)</i> | <i>sichtbarer weißer Belag auf der Bodenoberfläche</i> | <i>Boden (g)</i> | <i>Zeit (Stunden)</i> | <i>aufgeschüttete Wassermenge (ml)</i> |
| 0 | | 50 | 24 | 30 |
| 5 | | 50 | 24 | 30 |
| 20 | | 50 | 24 | 30 |

Sequenz 6: Bodenversalzung durch Bewässerung

AB 10

Bodenversalzung durch Bewässerung – Auswertung

- 1 Schau dir die Ergebnisse in der Tabelle an. Schreibe deine Beobachtungen genau auf.

- 2 Schau dir nun die Fragestellung und Hypothesen (Vermutungen) noch einmal an. Schreibe die Hypothesen in die Tabelle. Welche Hypothese kann bestätigt werden, trifft also zu? Welche Hypothese kann widerlegt werden, trifft also nicht zu?

Kreuze an!

| | Hypothese ist bestätigt | Hypothese ist widerlegt |
|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Hypothese (1): | | |
| Gegenhypothese (0): | | |

- 3 Versuche das Ergebnis zu erklären! Beziehe die Ergebnisse auf die Fragestellung und den Raum. Vielleicht fallen dir aus dem Unterricht bereits behandelte Themen ein, die dir bei der Erklärung helfen können. Gab es Probleme bei den Ergebnissen oder der Durchführung? Woran könnte es gelegen haben?

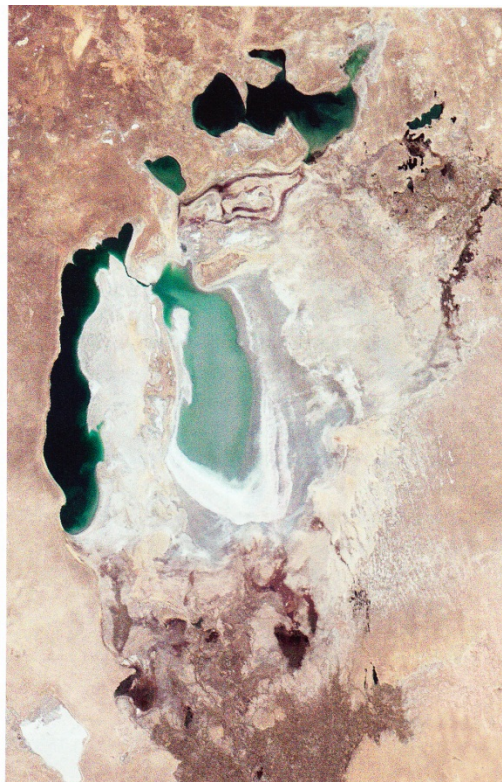
- 4 Stellen sich neue Fragen aus den Ergebnissen? Schreibe sie auf.

Sequenz 7: Das Phänomen - Aralsee

Einstiegsfolie (Folie 4)



Der Aralsee 1973



Der Aralsee 2007

Abb.: Heyden, K. (2009): Landschaftswandel am Aralsee. In: Diercke 360°Nr. 02/2009, S. 19-23

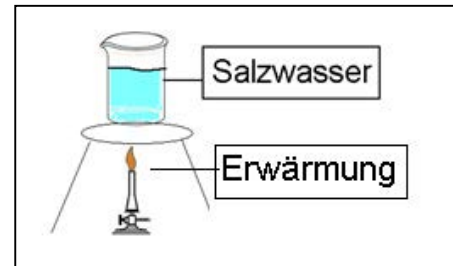
Sequenz 7: Das Phänomen - Aralsee

AB 11

Das Phänomen Aralsee – Planung und Durchführung eines Experiments (Teil I)

Der Aralsee trocknet langsam aus. Es handelt sich um einen See mit einem sehr hohen Salzgehalt. Auf dem Boden der ausgetrockneten Bereiche ist ein weißer Belag zu sehen. Die Schüler der Klasse 6 stellen folgende

Fragestellung auf:



Ist der hohe Salzgehalt im Wasser für die Entstehung des weißen Belags auf dem Boden verantwortlich?

Es werden **Hypothesen** formuliert:

Hypothese (1): Je höher der Salzgehalt im Wasser ist, desto mehr weißer Belag bildet sich nach der Verdunstung des Wassers auf dem Boden.

Gegenhypothese (0): Der Salzgehalt hat keinen Einfluss auf die Entstehung des weißen Belags.

Aufgaben:

1 Bestimme nun die abhängige Variable und die unabhängigen Variablen. Betrachte dafür den Experimentalaufbau und die Hypothesen!

Das wollen wir messen/beobachten

(abhängige Variable):

| |
|--|
| |
|--|

...ist abhängig von...

... und wird beeinflusst von

(unabhängige Variablen):

| |
|--|
| |
| |
| |

2 Lies die Hypothesen aufmerksam durch. In der Hypothese (1) wird eine unabhängige Variable genannt, die die abhängige Variable beeinflusst. Umkreise sie grün.

3 Welche Variablen sind demnach die Kontrollvariablen und dürfen nicht verändert werden? Umkreise die Kontrollvariablen rot.

Sequenz 7: Phänomen Aralsee

AB 12

Das Phänomen Aralsee – Planung und Durchführung eines Experiments

- 1 In Form einer Tabelle macht Laura einen Plan für ihre Untersuchung. Werden dabei alle Variablen kontrolliert? Begründe deine Aussage.

| unabhängige Variable | abhängige Variable | Kontrollvariablen | |
|----------------------|----------------------------|-------------------|--|
| Salz (g) | weißer Belag auf dem Boden | Wassermenge (ml) | Wärmezufuhr (Anzahl der Bunsenbrenner) |
| 0 | | 50 | 1 |
| 5 | | 100 | 1 |
| 50 | | 150 | 2 |
| 150 | | 300 | 2 |

Begründung:

Kontrollansatz

Bei deinem Experiment musst du immer einen Kontrollansatz einplanen. Wenn du vermutest, dass z. B. die Salzmenge (in g) das Ergebnis beeinflusst, dann muss in einem Aufbau die Variable Salz (in g) weggelassen werden. Somit musst du einen Aufbau mit Süßwasser (0 g Salz) durchführen. So kannst du herausfinden, dass wirklich die Salzmenge das Ergebnis beeinflusst.

- 2 Führe nun das Experiment praktisch durch. Beachte den Aufbau eines Kontrollansatzes. Protokolliere anhand der Tabelle deine Beobachtungen.

| unabhängige Variable | abhängige Variable | Kontrollvariablen | |
|----------------------|----------------------------|-------------------|--|
| Salz (g) | weißer Belag auf dem Boden | Wassermenge (ml) | Wärmezufuhr (Anzahl der Bunsenbrenner) |
| 0 | | 50 | 1 |
| 5 | | 100 | 1 |
| 50 | | 150 | 2 |
| 150 | | 300 | 2 |

Sequenz 7: Das Phänomen - Aralsee

AB 13

Das Phänomen – Aralsee – Auswertung

- 1 Schau dir die Ergebnisse in der Tabelle an. Schreibe deine Beobachtungen genau auf.

- 2 Schau dir nun die Fragestellung und Hypothesen (Vermutungen) noch einmal an. Schreibe die Hypothesen in die Tabelle. Welche Hypothese kann bestätigt werden, trifft also zu? Welche Hypothese kann widerlegt werden, trifft also nicht zu?

Kreuze an!

| | Hypothese ist bestätigt | Hypothese ist widerlegt |
|-----------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| <i>Hypothese (1):</i> | | |
| <i>Gegenhypothese (0):</i> | | |

- 3 Versuche das Ergebnis zu erklären! Beziehe die Ergebnisse auf die Fragestellung. Vielleicht fallen dir aus dem Unterricht bereits behandelte Themen ein, die dir bei der Erklärung helfen können. Gab es bei den Ergebnissen oder der Durchführung Probleme? Woran könnte es gelegen haben?

- 4 Stellen sich neue Fragen aus den Ergebnissen? Schreibe sie auf.

Sequenz 8: Das Phänomen - Totes Meer

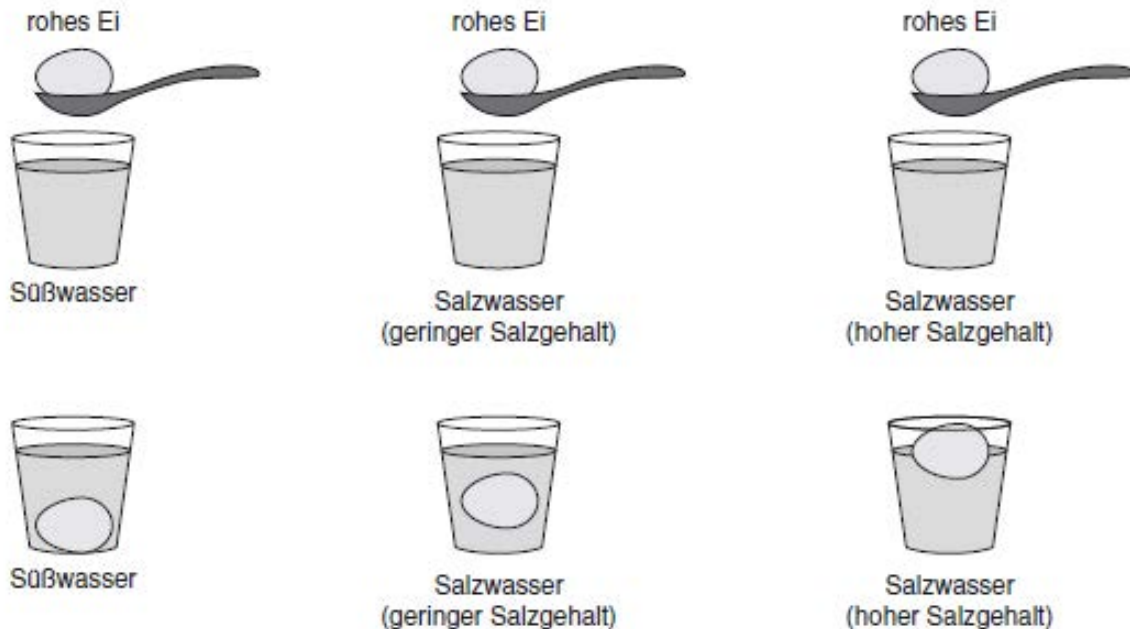
Einstiegsfolie (Folie 5)



Abb.: <http://lifestyle.de.msn.com/reisen/tipps-trends/diese-touri-highlights-sind-dem-untergang-geweiht?page=11>

Sequenz 8: Das Phänomen - Totes Meer

AB 14

Das Phänomen - Totes Meer – Fragestellung und Hypothesen formulieren

- 1) Schülerinnen und Schüler der sechsten Klasse haben dieses Experiment aufgebaut. Sie wollten damit etwas herausfinden. Welche Fragestellung kann mit diesem Experiment überprüft werden?

Formuliere eine passende Fragestellung.

- 2) Die Schülerinnen und Schüler wollen mit dem Experiment ihre Fragestellung überprüfen. Dafür müssen zunächst Hypothesen (Vermutungen) aufgeschrieben werden.

Schreibe die Hypothesen als Aussage auf.

Hypothese (1): _____

Gegenhypothese (0): _____

Sequenz 8: Das Phänomen - Totes Meer

AB 15

Das Phänomen - Totes Meer – Experiment planen und durchführen

Im Grenzbereich von Israel und Jordanien befindet sich das Tote Meer. Der Salzgehalt des Wassers ist so hoch, dass keine Fische darin leben können. Menschen können dort schwimmen ohne Schwimmberwegungen auszuführen. Das Wasser trägt die Menschen (Tragfähigkeit).



- 1 Schreibt die Fragestellung und Hypothesen (Vermutung) nochmals auf:

Fragestellung: _____

Hypothese (1): _____

Gegenhypothese (0): _____

- 2 Bestimme nun die abhängige Variable und die unabhängigen Variablen. Betrachte dafür den Experimentalaufbau!

Das wollen wir messen/beobachten

(abhängige Variable):

| |
|--|
| |
|--|

...ist abhängig von...

...und wird beeinflusst von

(unabhängige Variablen):

| |
|--|
| |
| |
| |

- 3 Umkreise die unabhängige Variable grün und die Kontrollvariablen rot.

AB 16

Das Phänomen Totes Meer – Experiment planen und durchführen

- 4 In Form einer Tabelle macht Lukas einen Plan für seine Untersuchung. Werden dabei alle Variablen kontrolliert? Begründe deine Aussage.

| Lukas Plan | | | | |
|------------|-------------------------------------|---|--|----------------------|
| | unabhängige Variable | abhängige Variable | Kontrollvariablen | |
| | Salzgehalt des Wassers in Gramm (g) | Lage des Eies vom Glasboden aus gemessen in Millimeter (mm) | Wassermenge im Becherglas in Milliliter (ml) | Ei: roh oder gekocht |
| 1. Aufbau | 0 | | 250 | roh |
| 2. Aufbau | 50 | | 250 | gekocht |
| 3. Aufbau | 100 | | 500 | roh |

Begründung:

- 5 Führe nun das Experiment praktisch durch. Beachte den Aufbau eines Kontrollansatzes. Protokolliere anhand der Tabelle deine Beobachtungen.

| Dein Plan | | | | |
|-----------|-------------------------------------|---|--|----------------------|
| | unabhängige Variable | abhängige Variable | Kontrollvariablen | |
| | Salzgehalt des Wassers in Gramm (g) | Lage des Eies vom Glasboden aus gemessen in Millimeter (mm) | Wassermenge im Becherglas in Milliliter (ml) | Ei: roh oder gekocht |
| 1. Aufbau | | | | |
| 2. Aufbau | | | | |
| 3. Aufbau | | | | |

Sequenz 8: Das Phänomen - Totes Meer

AB 17

Das Phänomen - Totes Meer – Auswertung

- 1 Schau dir die Ergebnisse in der Tabelle an. Schreibe deine Beobachtungen genau auf.

- 2 Schau dir nun die Fragestellung und Hypothesen (Vermutungen) noch einmal an. Schreibe die Hypothesen in die Tabelle. Welche Hypothese kann bestätigt werden, trifft also zu? Welche Hypothese kann widerlegt werden, trifft also nicht zu?

Kreuze an!

| | Hypothese ist bestätigt | Hypothese ist widerlegt |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Hypothese (1): | | |
| Gegenhypothese (0): | | |

- 3 Versuche das Ergebnis zu erklären! Beziehe die Ergebnisse auf die Fragestellung und die Auswirkungen auf den Raum. Vielleicht fallen dir aus dem Unterricht bereits behandelte Themen ein, die dir bei der Erklärung helfen können. Gab es bei den Ergebnissen oder der Durchführung Probleme? Woran könnte es gelegen haben?

- 4 Stellen sich neue Fragen aus den Ergebnissen? Schreibe sie auf.

Sequenz 9: Kalt- und Warmströmungen in einem See

Stundeneinstieg

Gestern war ich im See baden. Der See war angenehm warm. Ich schwamm einige Meter, als plötzlich das Wasser unter mir kalt wurde. Meine Beine waren im kalten Wasser, die Hände und der Oberkörper jedoch in wärmerem Wasser. Das Seewasser hatte somit im oberen und unteren Bereich unterschiedliche Temperaturen.

Nach einer Stunde ging ich nochmals ins Wasser und schwamm zu dieser Stelle. Ich konnte das gleiche spüren.

Auch am Abend dachte ich noch daran. Daher ging ich am nächsten Tag wieder zum See und schwamm wieder einige Meter hinaus. Ich konnte die gleichen Temperaturunterschiede spüren wie am Tag zuvor. Ob sich das kalte und warme Wasser denn nicht vermischen und lauwarmes Wasser ergeben?

Sequenz 9: Kalt- und Warmströmungen in einem See

AB 18

Kalt- und Warmströmungen in einem See - Fragestellung, Hypothese und Planung

- 1 Formuliere zu dem Phänomen eine überprüfbare **Fragestellung**.

Mit einem Experiment soll die Fragestellung überprüft werden. Dafür müssen zunächst Hypothesen aufgeschrieben werden.

- 2 Schreibe die **Hypothesen** (Vermutungen) als Aussage auf.

Hypothese (1): _____

Gegenhypothese (0): _____

- 3 **Plane** nun ein Experiment.

Folgende Materialien stehen für dich bereit:

- | | |
|-------------------------------|----------------|
| - Wasser 5 °C (blau gefärbt) | - Eier |
| - Wasser 20 °C (grün gefärbt) | - Messbecher |
| - Wasser 40 °C (gelb gefärbt) | - Gartenerde |
| - Wasser 60 °C (rot gefärbt) | - Messzylinder |

- 4 Bestimme die abhängigen und die unabhängigen Variablen.
Denke an die Kontrollvariablen!

Das wollen wir messen/beobachten

(abhängige Variable):

...ist abhängig von...

... und wird beeinflusst von

(unabhängige Variablen):

| |
|--|
| |
| |
| |

- 5 Erstelle eine **Skizze** von deinem Experimentaufbau:

- 6 Führe nun das Experiment **praktisch** durch. Beachte den Aufbau eines Kontrollansatzes. Protokolliere anhand der Tabelle deine Beobachtungen.

| unabhängige Variable | abhängige Variable | Kontrollvariablen | |
|----------------------|--------------------|-------------------|--|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

- 7 Schau dir die Ergebnisse in der Tabelle an. Schreibe deine **Beobachtungen** genau auf.

- 8 Schau dir nun die **Hypothesen** noch einmal an und schreibe sie in die Tabelle. Welche Hypothese kann bestätigt werden, trifft also zu? Welche Hypothese kann widerlegt werden, trifft also nicht zu?

Hypothese (1) kann _____ werden.

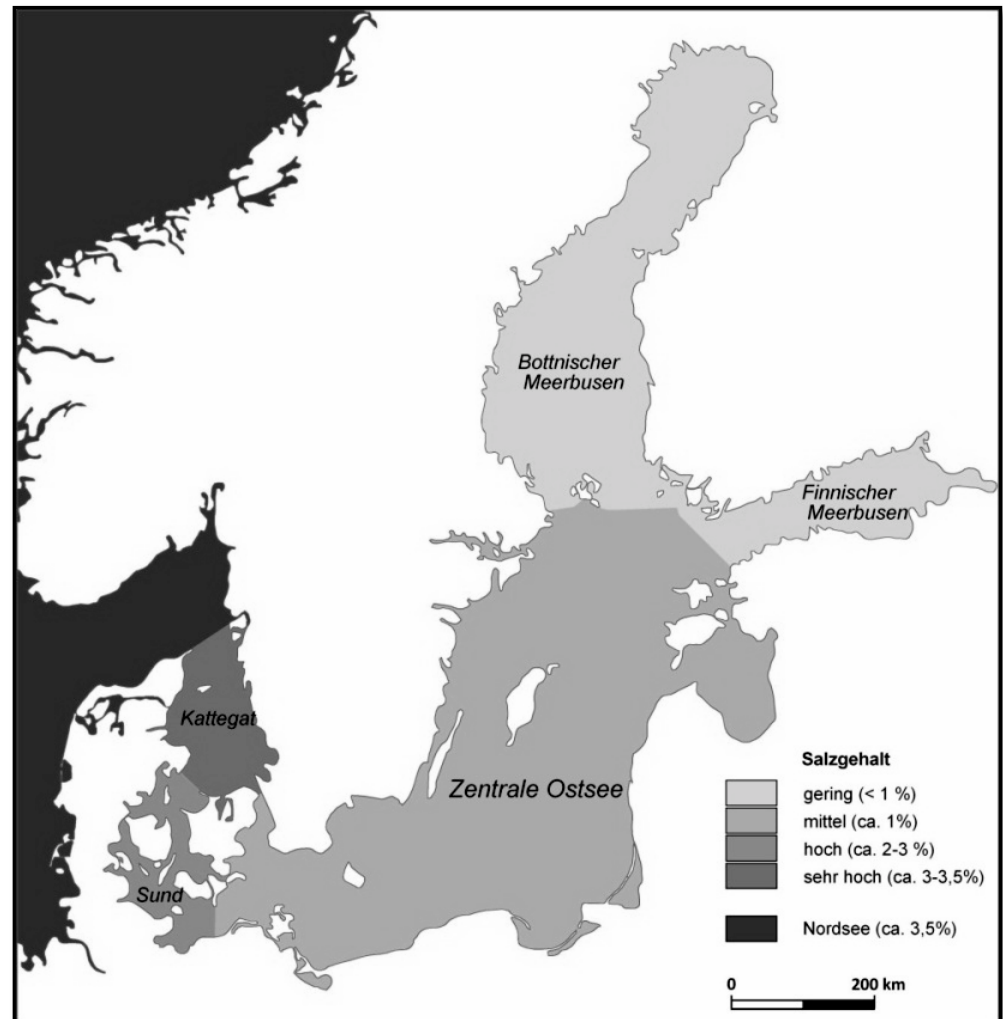
Gegenhypothese (0) kann _____ werden.

- 9 Versuche nun das Ergebnis zu **erklären**. Denke an die Fragestellung! Gab es Probleme bei der Durchführung oder den Ergebnissen? Was kannst du das nächste Mal verbessern?

- 10 Stellen sich **neue Fragen** aus den Ergebnissen? Schreibe sie auf.

Sequenz 10: Salzgehalt der Ostsee

Einstiegsfolie



Folgende Materialien werden auf dem Materialtisch bereitgestellt:

- Messzylinder 100 ml
- Bechergläser
- Gartenerde
- Blumentopf
- Eier
- Süßwasser (gelb gefärbt)
- Salzwasser mit 10 g Salz (rot gefärbt)
- Salzwasser mit 50 g Salz (blau gefärbt)

Hilfekarten

Hilfekarte Fragestellung formulieren

1. Beschreibe genau, was Du siehst.
2. Zu welchem Ergebnis kommst du?
3. Welche Frage könnte zuvor formuliert worden sein?

Denke daran: *Die Frage muss überprüfbar (naturwissenschaftlich) sein!*

Hilfekarte Vermutung aufstellen

1. Was könnte das Experiment zeigen?
2. Schreibe deine Hypothese (Vermutung) als Aussage auf.
3. Zu der Aussage muss eine Gegenaussage aufgeschrieben werden. Sie heißt Gegenhypothese. Du brauchst sie zur abschließenden Überprüfung der Hypothesen.

Tipp: Folgende Satzbausteine können helfen!

Hypothese (1): ‚Je....., desto.....‘, ‚Wenn....., dann.....‘.

Gegenhypothese (0): ‚..... hat keinen Einfluss auf.....‘.

Hilfekarte Experiment planen und durchführen

Eine Variable ist ein Faktor (z. B. Temperatur). Er beeinflusst das Ergebnis.

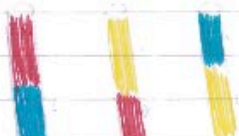
Überlege:

- Was muss gemessen werden?
- Welche Variablen (Bedingungen) müssen konstant bleiben, also gleich bleiben? = Kontrollvariablen
- Welche Variable (Bedingung) muss verändert werden? = unabhängige Variable
- Welche Materialien werden für die Durchführung benötigt?

Hilfekarte Experiment auswerten

1. Schreibe deine Beobachtungen auf. Nutze dafür das Protokoll.
Fasse die Ergebnisse in eigene Worte.
2. Danach werden die Hypothesen überprüft. Denke daran – es sind Aussagen.
 - Welche stimmt (kann bestätigt werden)?
 - Welche stimmt nicht (kann widerlegt werden)?
3. Danach kannst du versuchen, die Ergebnisse zu erklären. Nutze dafür dein Wissen aus dem Unterricht. Beziehe die Fragestellung mit ein und übertrage die Ergebnisse auf das Raumbeispiel.

Anhang III: Protokollausschnitte (Evaluationsstudie)**Protokoll A1 (Schülerprotokoll)**

| | | |
|---|-----------------|------------------------|
| | | A1 |
| | | 25.6.12 |
| Fragestellung: | | |
| Vermischen sich die verschiedenen Salzgehalte nicht? | | |
| Hypothese(1): Wenn das Wasser mit dem höheren Salzgehalt schwerer ist, befindet sich das Wasser mit dem geringeren Salzgehalt oben. Es vermischt sich das H ₂ O nicht. | | |
| Gegenhypothese(0): Der Salzgehalt hat keinen Einfluss auf die Vermischung. | | |
| Unabh. Variable | Abh. Variable | Kontrollvariablen |
| Salzgehalt | Schichten | Gefäßgröße Wassermenge |
| 2. 0g/10g | • • • • • | 100ml 50ml |
| 1. 10g/50g | vermischt nicht | 100ml 50ml |
| 3. 50g/0g | nicht vermischt | 100ml 50ml |
| Hypothese ist bestätigt, Gegenhypothese ist widerlegt. | | |
|  | | |
| Beobachtung: Der Kontrollansatz hat sich nicht vermischt. Gelb und rot hat sich ^{nicht} vermischt. Blau und rot hat sich vermischt. | | |
| → | | |

Erklärung: Die verschiedenen Salzgehalte haben sich nicht vermischt, weil wenn das untere Wasser schwerer ist als das obere Wasser vermischt es sich nicht.

Protokoll A1 – Transkription

A1-F

Vermischen sich die verschiedenen Salzgehalte nicht?

A1-H

Hypothese (1): Wenn das Wasser mit dem höheren Salzgehalt sich unten befindet und das Wasser mit dem geringeren Salzgehalt sich oben befindet, dann vermischt sich das Wasser nicht.

Gegenhypothese (0) Der Salzgehalt hat keinen Einfluss auf die Vermischung.

Hypothese ist bestätigt, Gegenhypothese ist widerlegt

A1-P

abhängige Variable: Schichten

unabhängige Variablen: korrekte Variation des Salzgehalts (g)

Kontrollvariablen: Gefäßgröße (100 ml), Wassermenge (50 ml) kontrolliert

Skizze: [vorhanden] drei Messzylinder farbig angemalt, entsprechend den bereitgestellten Lösungen ohne Beschriftung, Benennung des Kontrollansatzes

A1-A

Beobachtung: Der Kontrollansatz hat sich nicht vermischt. 10 g oben und 50 g unten haben sich vermischt. 0 g oben und 10 g unten haben sich nicht vermischt.

Erklärung: Die verschiedenen Salzgehalte haben sich nicht vermischt, weil wenn das untere Wasser schwerer ist als das obere Wasser es sich nicht vermischt.

Protokoll A2 (Schülerprotokoll)

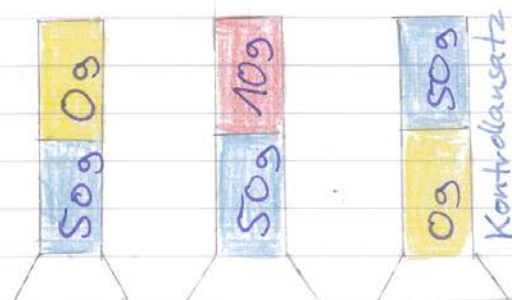
A2

Fragestellung: Vermischen sich die unterschiedlichen, salzhaltigen Schichten in der Ostsee nicht?

Hypothese (1): Wenn in den unteren mehr und in den oberen Schichten weniger Salz vorhanden ist, dann vermischt sich das Wasser nicht.

Gegenhypothese (0): Die Lage und der Salzgehalt haben keinen Einfluss auf die verschiedenen Schichten.

| unabhängige Variablen | Abhängige | Kontrollvariablen | |
|-----------------------|-----------|-------------------|------------------|
| Salzmenge | | Wasser (ml) | Gefäß (gr. (ml)) |
| 0 g | | 50 ml | 100 ml |
| 10 g | | 50 ml | 100 ml |
| 50 g | | 50 ml | 100 ml |



A2

Beobachtung: Die Salzwasser- und Süßwasser-
den Versuchsgläsern mischen sich nicht.
Bei dem Kontrollansatz jedoch mischen sie
sich.

Erklärung: Der Kontrollansatz mischt sich
weil das blau gefärbte Salzwasser (50g Salz)
nach unten sinkt weil es schwerer ist. Dadurch
mischt es sich mit dem gelb gefärb-
ten Salzwasser (0g) weil dieses leichter
ist.

Die Ostsee ist je nach Stelle höher
oder tiefer. Je tiefer es ist desto
salzhaltiger ist das Wasser. Im Finnischen
Meerbusen ist es Flach deshalb ist der
Salzgehalt dort geringer. Ausser der
Landfläche im Meer ist es tiefer
und des halb salzhaltiger. Die Wasser-
schichten mischen sich nicht weil das „schwere“
Salzwasser unten liegt und nicht steigt.

A2-F

Vermischen sich die unterschiedlichen, salzhaltigen Schichten in der Ostsee nicht?

A2-H

Hypothese (1): Wenn in den unteren mehr und in den oberen Schichten weniger Salz vorhanden ist, dann vermischt sich das Wasser nicht.

Gegenhypothese (0): Die Lage und der Salzgehalt haben keinen Einfluss auf die unterschiedlichen Schichten.

[keine Hypothesenrevision]

A2-P

abhängige Variable: Schichten

unabhängige Variablen: Salzmenge (g) - in Tabelle fehlerhafte Variation, in Skizze korrekte Variation

Kontrollvariablen: Gefäßgröße (100 ml), Wassermenge (50 ml) kontrolliert

Skizze: [vorhanden] drei Messzylinder farbig angemalt, entsprechend den bereitgestellten Lösungen mit Beschriftung und Benennung des Kontrollansatzes

A2-A

Beobachtung: Die Salzwasserschichten bei den Versuchsgefäßen mischen sich nicht. Bei dem Kontrollansatz mischen sie sich jedoch.

Erklärung: Der Kontrollansatz mischt sich, weil das blau gefärbte Salzwasser [50 g Salz] nach unten sinkt, weil es schwerer ist. Dadurch mischt es sich mit dem gelb gefärbten Salzwasser [0 g], weil dieses leichter ist.

Interpretation: Die Ostsee ist je nach Stelle höher oder tiefer. Je tiefer es ist, desto salzhaltiger ist das Wasser. Im Finnischen Meerbusen ist es flach, deshalb ist der Salzgehalt dort geringer. Außer der Landfläche im Meer ist es tiefer und deshalb salzhaltiger. Die Wasserschichten mischen sich nicht, weil das "schwerere" Salzwasser unten liegt und nicht steigt.

Anhang IV: Codieranleitung

| | Fragestellung | Hypothesen | Planung | Auswertung |
|------------|---|--|---|--|
| I | <ul style="list-style-type: none"> keine Formulierung der Fragestellung (F_1)⁵ | <ul style="list-style-type: none"> Hypothesen beziehen sich auf die Fragestellung multiple Hypothesen werden formuliert (H1 und H0) erfolgreiche Hypothesenrevisi on (H_1) | <ul style="list-style-type: none"> Variablenveränderung ohne erkennbares System Vorgehen entspricht intuitivem Vorgehen (no plan) (P_1) | <ul style="list-style-type: none"> Beobachtung wird beschrieben Hypothesen werden nicht verifiziert bzw. falsifiziert kein Bezug auf Hypothesen keine Erklärung der Ursachen (A_1) |
| II | <ul style="list-style-type: none"> Frage steht nicht mit Phänomen oder Problem im Zusammenhang Frage ist nicht überprüfbar (F_2) | <ul style="list-style-type: none"> Hypothesen werden formuliert Hypothesen beziehen sich nicht auf die Fragestellung Es werden nicht alle Hypothesen formuliert Hypothesen beziehen sich nicht logisch aufeinander (H_2) | <ul style="list-style-type: none"> Variablen werden identifiziert fehlerhafte Variation der Variablen fehlende Kontrollvariablen (P_2) | <ul style="list-style-type: none"> Beobachtung wird beschrieben Daten werden auf Hypothesen bezogen Wechsel bzw. Beibehaltung der Hypothesen, obwohl die Datenlage es nicht zulässt Widersprüche treten beim Erklären der Ergebnisse auf unlogische Rückschlüsse werden gezogen (A_2) |
| III | <ul style="list-style-type: none"> Frage steht im Zusammenhang mit dem Phänomen oder Problem Frage ist nicht überprüfbar (F_3) | <ul style="list-style-type: none"> Hypothesen beziehen sich auf die Fragestellung multiple Hypothesen werden formuliert (H1 und H0) Hypothesen werden nicht revidiert (H_3) | <ul style="list-style-type: none"> abhängige und unabhängige Variablen werden adäquat differenziert Variation der unabhängigen Variable erfolgt Kontrollvariablen werden konstant gehalten Kontrollansatz fehlt (P_3) | <ul style="list-style-type: none"> logische Erklärung der Daten Schwierigkeiten beim Umgang mit Anomalien (Fehlinterpretationen, Widersprüche bei Daten, die den Erwartungen widersprechen) methodisches Vorgehen wird nicht reflektiert oder Ergebnisse nicht oder ungenau auf Problem rückbezogen (interpretiert) (A_3) |
| IV | <ul style="list-style-type: none"> Frage wird adäquat formuliert Frage steht im Zusammenhang mit dem Phänomen oder Problem Frage ist überprüfbar (F_4) | <ul style="list-style-type: none"> Hypothesen beziehen sich auf die Fragestellung multiple Hypothesen werden formuliert (H1 und H0) erfolgreiche Hypothesenrevisi on (H_4) | <ul style="list-style-type: none"> abhängige und unabhängige Variablen werden adäquat differenziert Variation der unabhängigen Variable erfolgt Kontrollvariablen werden konstant gehalten Kontrollansatz vorhanden (P_4) | <ul style="list-style-type: none"> Beobachtung wird genau beschrieben Ergebnisse werden auf Problem rückbezogen und fachlich korrekt entsprechend dem Raumbeispiel interpretiert Analyse gelingt auch bei Anomalien (z.B. Messfehlern) (A_4) |

⁵ Die Klammer zeigt den jeweiligen Code an. Die Zuordnung eines Codes erfolgt, um die Kompetenzeinstufung zu bestimmen.

Anhang V: Codierung der Protokollausschnitte

1 Teilkompetenz Fragestellung formulieren

| Fragestellung formulieren Stufe 4 (Code F_4) |
|--|
| A1-F Vermischen sich die verschiedenen Salzgehalte nicht? |
| A2-F Vermischen sich die unterschiedlichen, salzhaltigen Schichten in der Ostsee nicht? |
| A4-F Vermischt sich der Salzgehalt in der Ostsee nicht |
| A5-F Vermischt sich Wasser in der Ostsee mit unterschiedlichem Salzgehalt nicht? |
| B6-F Vermischt sich Süßwasser mit Salzwasser? |
| B7-F Vermischt sich das Wasser mit niedrigem Salzgehalt mit Wasser mit hohem Salzgehalt? |
| B8-F Kann sich das Wasser mit verschiedenen Salzgehalten nicht vermischen? |
| B9-F Kann sich Wasser mit keinem oder mit wenig Salz mit Wasser mit hohem Salzgehalt vermischen? |
| B10-F Vermischt sich Süßwasser und Salzwasser mit viel Salz? |
| B11-F Weshalb vermischen sich das Salz- und das Süßwasser der Ostsee nicht? |
| B12-F Vermischt sich Salzwasser mit Süßwasser? |
| C13-F Vermischt sich das Süß- und Salzwasser nicht? |
| C14-F Ist Salzwasser schwerer als Süßwasser? |
| C15-F Vermischt sich das Salz- und Süßwasser nicht? |
| C16-F Vermischen sich Salz- und Süßwasser nicht? |
| C17-F Das Salzwasser vermischt sich nicht mit Süßwasser? |
| C18-F Vermischt sich das Salzwasser mit dem Süßwasser nicht? |
| D19-F Vermischt sich das Salzwasser nicht mit dem Süßwasser? |
| D20-F Vermischen sich die besonders hohen Salzgehalte und der sehr niedrige Salzgehalt? |
| D21-F Mischen Süßwasser und Salzwasser sich nicht? |
| D22-F Wie kann das sein, dass in einem Meer an verschiedenen Stellen unterschiedlich viel Salzgehalt ist? |
| D23-F Vermischt sich das Salzwasser nicht mit dem Süßwasser? |

| |
|---|
| D24-F Vermischt sich das Salzwasser mit dem Süßwasser nicht? |
| D25-F Wie kann die Ostsee verschiedene Salzgehalte haben, ohne dass sie sich vermischen? |
| E26-F Vermischt sich Süßwasser mit Salzwasser? |
| E27-F Vermischen sich Süß- und Salzwasser nicht? |
| E28-F Vermischen sich Wasser mit und ohne Salz? |
| E30-F Kann Salzwasser sich mit Süßwasser vermischen? |

| Fragestellung formulieren Stufe 3 (Code F_3) | Memo |
|---|---|
| A3-F Vermischen sich die unterschiedlichen Bereiche mit Salzgehalt der Ostsee nicht? | Obwohl die Fragestellung mit dem Phänomen in Beziehung steht, ist sie nicht präzise und adäquat formuliert. |
| E29-F Hat das Süßwasser Einfluss auf das Salzwasser? | Eine Überprüfung im Experiment ist nicht möglich. Die Frage ist zu offen. |

2 Teilkompetenz Hypothesen generieren

| Hypothesen generieren Stufe 4 (Code H_4) | Memo |
|---|---|
| <p>A1-H Hypothese (1): Wenn das Wasser mit dem höheren Salzgehalt sich unten befindet und das Wasser mit dem geringeren Salzgehalt sich oben befindet, dann vermischt sich das Wasser nicht. Gegenhypothese (0) Der Salzgehalt hat keinen Einfluss auf die Vermischung. Hypothese ist bestätigt, Gegenhypothese ist widerlegt</p> | |
| <p>A3-H Hypothese (1): Wenn in den unteren Schichten viel Salzgehalt im Wasser ist und in den oberen wenig, dann vermischt sich der Salzgehalt nicht! Gegenhypothese (0): Der Salzgehalt hat keinen Einfluss auf die Vermischung des Wassers! Hypothese (1) kann bestätigt werden, Gegenhypothese (0) kann widerlegt werden.</p> | |
| <p>A5-H Hypothese (1): Wenn in unteren Schichten Salzwasser und in den oberen Schichten Süßwasser ist, vermischen sie sich nicht. Gegenhypothese (0): Die Lage und die Salzmenge haben keinen Einfluss auf die Schichten Hypothese (1): bestätigt; Gegenhypothese (0): widerlegt</p> | |
| <p>B6-H Hypothese (1): Süßwasser vermischt sich nicht mit Salzwasser. Gegenhypothese (0): Süßwasser vermischt sich mit Salzwasser. Hypothese (1) bestätigt sich; Gegenhypothese (0) widerlegt sich</p> | <p>Der Hypothese fehlt die Begründung. Die Hypothese (1) kann theoretisch durch die Ergebnisse widerlegt werden. Dennoch sind alle Bedingungen der Stufe 4 erfüllt.</p> |
| <p>B7-H Hypothese (1): Wasser mit einem hohen Salzgehalt vermischt sich nicht mit Wasser mit einem niedrigen Salzgehalt. Gegenhypothese (0): Wasser mit niedrigem Salzgehalt vermischt sich mit Wasser mit hohem Salzgehalt. Hypothese (1): bestätigt; Gegenhypothese (0): widerlegt</p> | <p>Der Hypothese fehlt die Begründung. Die Hypothese (1) kann theoretisch durch die Ergebnisse widerlegt werden. Dennoch sind alle Bedingungen der Stufe 4 erfüllt.</p> |
| <p>B8-H Hypothese (1): Das Wasser mit verschiedenen Salzgehalten vermischt sich nicht. Gegenhypothese (0): Das Wasser mit verschiedenen Salzgehalten vermischt sich. Hypothese (1) kann bestätigt werden, Gegenhypothese (0) kann widerlegt werden.</p> | <p>Der Hypothese fehlt die Begründung. Die Hypothese (1) kann theoretisch durch die Ergebnisse widerlegt werden. Dennoch sind alle Bedingungen der Stufe 4 erfüllt.</p> |
| <p>B9-H Hypothese (1): Wasser mit keinem oder wenig Salz kann sich mit Wasser mit hohem Salzgehalt vermischen. Gegenhypothese (0): Wasser mit keinem oder wenig Salz kann sich nicht mit Wasser mit hohem Salzgehalt vermischen. Hypothese (1): bestätigt; Gegenhypothese (0): widerlegt</p> | <p>Der Hypothese fehlt die Begründung. Die Hypothese (1) kann theoretisch durch die Ergebnisse widerlegt werden. Dennoch sind alle Bedingungen der Stufe 4 erfüllt.</p> |

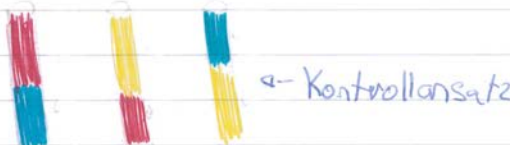
| | |
|---|---|
| <p>B10-H Hypothesen (1): Wenn viel Salzwasser und kein Salzwasser drinnen ist vermischt sich dies nicht. Gegenhypothese (0): Das Salzwasser mit besonders hohem Salzgehalt vermischt sich mit Salzwasser ohne Salzgehalt. Hypothese (1): bestätigt; Gegenhypothese (0): widerlegt</p> | |
| <p>B12-H Hypothese (1): Salzwasser vermischt sich nicht mit Süßwasser. Gegenhypothese (0): Salzwasser vermischt sich mit Süßwasser. Hypothese (1): bestätigt; Gegenhypothese (0): widerlegt</p> | <p>Der Hypothese fehlt die Begründung. Die Hypothese (1) kann theoretisch durch die Ergebnisse widerlegt werden. Dennoch sind alle Bedingungen der Stufe 4 erfüllt.</p> |
| <p>C13-H Hypothese (1): Wenn in den unteren Schichten Süß- und in den oberen Salzwasser ist, dann vermischt es sich nicht. Gegenhypothese (0): Die Lage und der Salzgehalt haben keinen Einfluss! Hypothese (1): wird widerlegt</p> | |
| <p>C15-H Hypothese (1): Je mehr Salzunterschiede im Wasser sind, desto weniger vermischt sich das Wasser. Gegenhypothese (0): Die Salzunterschiede haben keinen Einfluss auf das Vermischen des Wassers. Hypothese kann bestätigt werden; Gegenhypothese kann widerlegt werden</p> | <p>Der Hypothese fehlt die Begründung. Die Hypothese (1) kann theoretisch durch die Ergebnisse widerlegt werden. Dennoch sind alle Bedingungen der Stufe 4 erfüllt.</p> |
| <p>C18-H Hypothese (1): Wenn das Salzwasser unten und das Süßwasser oben ist, vermischt sich das Wasser nicht. Gegenhypothese (0): Der Salzgehalt im Wasser hat keinen Einfluss auf die Schichtung des Wassers. Hypothese (1): bestätigt; Gegenhypothese (0): widerlegt</p> | |
| <p>D20-H Hypothese (1): Wenn das Wasser mit dem niedrigen Salzgehalt unten ist und das mit dem hohen oben, dann vermischen sie sich nicht. Gegenhypothese (0): Wenn das Wasser mit dem niedrigen Salzgehalt unten ist und das mit dem hohen oben, dann vermischen sie sich. Hypothese (1): bestätigt; Gegenhypothese (0): widerlegt</p> | |
| <p>D21-H Hypothese (1): Je mehr Salzwasser desto schlechter vermischt sich das Wasser mit dem Süßwasser. Gegenhypothese (0): Das Salzwasser hat keinen Einfluss auf die Mischfähigkeit des Süßwassers. Hypothese (1): bestätigt; Gegenhypothese (0): widerlegt</p> | |
| <p>D22-H Hypothese (1): Je tiefer das Meer, desto mehr Salz ist im Wasser enthalten und das Süß- und Salzwasser vermischt sich nicht- Gegenhypothese (0): Die Tiefe des Wassers und das Vermischen von Süß- und Salzwasser haben keinen Einfluss auf den Salzgehalt. Hypothese (1): bestätigt; Gegenhypothese (0): widerlegt</p> | |

| | |
|--|---|
| <p>D23H Hypothese (1): Je mehr Salzgehalt im Wasser, desto schlechter vermischt es sich, weil das Salzwasser schwerer ist als das Süßwasser. Gegenhypothese (0): Der Salzgehalt des Wassers hat keinen Einfluss auf die Vermischung des Wassers. Hypothese (1): bestätigt; Gegenhypothese (0): widerlegt</p> | |
| <p>D24-H Hypothese (1): Salzwasser ist schwerer als Süßwasser deswegen vermischen sie sich nicht. Gegenhypothese (0): Das Gewicht hat damit nichts zu tun. Hypothese (1): bestätigt; Gegenhypothese (0): widerlegt</p> | |
| <p>D25-H Hypothese (1): Je mehr Salz im Wasser ist, desto schlechter vermischt es sich. Gegenhypothese (0): Die Menge des Salzes hat keinen Einfluss darüber, ob das Wasser sich vermischt. Hypothese (1): bestätigt; Gegenhypothese (0): widerlegt</p> | <p>Der Hypothese fehlt die Begründung. Die Hypothese (1) kann theoretisch durch die Ergebnisse widerlegt werden. Dennoch sind alle Bedingungen der Stufe 4 erfüllt.</p> |
| <p>E26-H Hypothese (1): Die Salzmenge hat keinen Einfluss auf das Vermischen. Gegenhypothese (0): Die Salzmenge hat Einfluss auf das Vermischen. Hypothese (1): ist nicht bestätigt, Gegenhypothese (0): ist bestätigt</p> | |
| <p>E28-H Hypothese (1): Das Wasser mit Salz vermischt sich mit dem ohne. Gegenhypothese (0): Der Salzgehalt hat keinen Einfluss, dass es sich vermischt. Hypothese (1) kann bestätigt werden, Gegenhypothese (0) kann widerlegt werden.</p> | |

| Hypothesen generieren Stufe 3 (Code H_3) | Memo |
|---|--|
| <p>A2-H Hypothese (1): Wenn in den unteren mehr und in den oberen Schichten weniger Salz vorhanden ist, dann vermischt sich das Wasser nicht. Gegenhypothese (0): Die Lage und der Salzgehalt haben keinen Einfluss auf die unterschiedlichen Schichten. [keine Hypothesenrevision]</p> | Die Hypothesenrevision fehlt. |
| <p>A4-H Hypothese (1): Je mehr Salzgehalt in der Ostsee ist, desto weniger kann es sich vermischen. Gegenhypothese (0): Der Salzgehalt hat keinen Einfluss auf die Vermischung. Hypothese (1) wird bestätigt. Gegenhypothese (o) wird widerlegt.</p> | Codierung in Stufe 3, da die Hypothesenrevision den Beobachtungen widerspricht. |
| <p>B11-H Hypothese (1): Das Salz- und das Süßwasser der Ostsee vermischt sich nicht miteinander, weil das Salzwasser schwerer als Süßwasser ist. Gegenhypothese (0): Das Salz- und das Süßwasser der Ostsee vermischen sich miteinander. [keine Hypothesenrevision]</p> | Die Hypothesenrevision fehlt. |
| <p>C14-H Hypothese (1): Salzwasser ist schwerer als Süßwasser. Gegenhypothese (0): Das Salz hat keinen Einfluss auf die schwere des Wassers. [keine Hypothesenrevision]</p> | Die Hypothesenrevision fehlt. |
| <p>C16-H Hypothese (1): Je mehr Salz im Wasser ist, desto weniger vermischt sich das Wasser. Gegenhypothese (0): Der Salzgehalt hat keinen Einfluss darauf, dass sich das Wasser nicht vermischt. [keine Hypothesenrevision]</p> | Der Hypothese fehlt die Begründung. Die Hypothese (1) kann daher theoretisch durch die Ergebnisse auch widerlegt werden. Zudem fehlt die Hypothesenrevision. |
| <p>C17-H Hypothese (1): Wenn das Salzwasser unten und das Süßwasser oben ist, dann vermischt es sich nicht. Gegenhypothese (0): Wenn das Salzwasser unten und das Süßwasser oben ist, dann vermischt es sich. [keine Hypothesenrevision]</p> | Die Hypothesenrevision fehlt. |
| <p>E27-H Hypothese (1): Je mehr Salz im Wasser ist desto weniger vermischt es sich. Gegenhypothese (0): Das Süß- und Salzwasser vermischen sich. [keine Hypothesenrevision]</p> | Die Hypothesenrevision fehlt. |
| <p>E30-H Hypothese (1): Je mehr Salz, desto weniger vermischt es sich. Gegenhypothese (0): Das Salz hat keinen Einfluss. [keine Hypothesenrevision]</p> | Die Hypothesenrevision fehlt. |

| Hypothese generieren Stufe 2 (Code H_2) | Memo |
|---|---|
| D19-H Hypothese (1): Das Salzwasser ist schwerer als das Süßwasser und deshalb vermischt es sich nicht. Gegenhypothese (0): Die Temperatur hat keinen Einfluss auf die Vermischung von Salz- und Süßwasser. [keine Hypothesenrevision] | Es wird die Variable Temperatur aufgeführt. Diese steht nicht im Zusammenhang mit der Fragestellung. Es erfolgt keine Hypothesenrevision. |
| E29-H Hypothese (1): Das Salzwasser trägt trotz Süßwasser das Ei. Gegenhypothese (0): Das Salzwasser und das Süßwasser haben keinen Einfluss auf das Ei. [keine Hypothesenrevision] | Eine Hypothese wird formuliert, die nicht mit Fragestellung/Phänomen im Zusammenhang steht. Die Hypothesenrevision erfolgt nicht. |

3 Teilkompetenz Planung eines Experiments

| Planung eines Experiments Stufe 4 (Code P_4) | Memo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|-------------------|-------------------|--|------------|-----------|------------|-------------|-----------|------------|-------|------|------------|------------------|-------|------|-----------|-----------------|-------|------|--|
| <p>A1-P</p> <p>abhängige Variable: Schichten</p> <p>unabhängige Variablen: korrekte Variation des Salzgehalts (g)</p> <p>Kontrollvariablen: Gefäßgröße (100 ml), Wassermenge (50 ml)</p> <p>kontrolliert</p> <p>Skizze: [vorhanden] drei Messzylinder farbig angemalt, entsprechend den bereitgestellten Lösungen und Benennung des Kontrollansatzes</p> <table border="1"><thead><tr><th>Unabh. Variable</th><th>Abh. Variable</th><th colspan="2">Kontrollvariablen</th></tr></thead><tbody><tr><td>Salzgehalt</td><td>Schichten</td><td>Gefäßgröße</td><td>Wassermenge</td></tr><tr><td>2. 0g/10g</td><td>1. Schicht</td><td>100ml</td><td>50ml</td></tr><tr><td>1. 10g/50g</td><td>vermischt nicht!</td><td>100ml</td><td>50ml</td></tr><tr><td>3. 50g/0g</td><td>nicht vermischt</td><td>100ml</td><td>50ml</td></tr></tbody></table> <p>Hypothese ist bestätigt, Gegenhypothese ist widerlegt.</p>  | Unabh. Variable | Abh. Variable | Kontrollvariablen | | Salzgehalt | Schichten | Gefäßgröße | Wassermenge | 2. 0g/10g | 1. Schicht | 100ml | 50ml | 1. 10g/50g | vermischt nicht! | 100ml | 50ml | 3. 50g/0g | nicht vermischt | 100ml | 50ml | |
| Unabh. Variable | Abh. Variable | Kontrollvariablen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Salzgehalt | Schichten | Gefäßgröße | Wassermenge | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2. 0g/10g | 1. Schicht | 100ml | 50ml | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1. 10g/50g | vermischt nicht! | 100ml | 50ml | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3. 50g/0g | nicht vermischt | 100ml | 50ml | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>A2-P</p> <p>abhängige Variable: Schichten</p> <p>unabhängige Variablen: Salzmenge (g) - in Tabelle lückenhaft, in Skizze korrekte Variation</p> <p>Kontrollvariablen: Gefäßgröße (100 ml), Wassermenge (50 ml)</p> <p>kontrolliert</p> <p>Skizze: [vorhanden] drei Messzylinder farbig angemalt, entsprechend den bereitgestellten Lösungen mit Beschriftung und Benennung des Kontrollansatzes</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>A3-P</p> <p>abhängige Variable: Schichten + Lagen</p> <p>unabhängige Variablen: korrekte Variation des Salzgehalts (g)</p> <p>Kontrollvariablen: Gefäßgröße (100 ml), Wassermenge (50 ml)</p> <p>kontrolliert</p> <p>Skizze: keine</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>A4-P</p> <p>abhängige Variable: Schichten</p> <p>unabhängige Variablen: korrekte Variation des Salzgehalts (g)</p> <p>Kontrollvariablen: Wassermenge (50 ml) kontrolliert</p> <p>Skizze: [vorhanden] drei Messzylinder farbig angemalt, entsprechend den bereitgestellten Lösungen mit Beschriftung und Benennung des Kontrollansatzes</p> | <p>Obwohl nur eine Kontrollvariable berücksichtigt wird, erfolgt die Codierung in Stufe 4. Begründet wird die Entscheidung mit der ansonsten vollständigen Planung unter Berücksichtigung aller Variablen (wie Kontrollansatz).</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

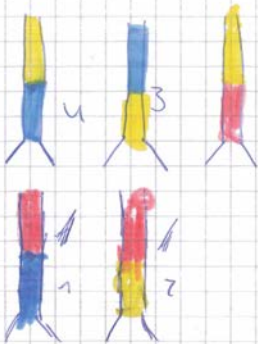
| | |
|---|---|
| <p>C14-P abhängige Variable: Schichtung unabhängige Variablen: korrekte Variation des Salzgehalts (g) Kontrollvariablen: Gefäßgröße (100 ml), Wassermenge (50 ml) kontrolliert Skizze: keine</p> | <p>Der Kontrollansatz wird in den weiteren Ausführungen benannt, daher erfolgt die Codierung in Stufe 4.</p> |
| <p>C15-P abhängige Variable: Schichten Salz- und Süßwasser unabhängige Variablen: korrekte Variation des Salzgehalts Kontrollvariablen: Gefäßgröße (100 ml), Wassermenge (50 ml) kontrolliert Skizze: [vorhanden] drei Messzylinder farbig angemalt, entsprechend den bereitgestellten Lösungen mit Beschriftung, ohne Benennung des Kontrollansatzes</p> | <p>Der Kontrollansatz wird in den weiteren Ausführungen benannt, daher erfolgt die Codierung in Stufe 4.</p> |
| <p>C16-P abhängige Variable: Schichtung des Wassers unabhängige Variablen: korrekte Variation des Salzgehalts Kontrollvariablen: Gefäßgröße (100 ml), Wassermenge (50 ml) kontrolliert Skizze: keine</p> | <p>Der Kontrollansatz wird in den weiteren Ausführungen benannt, daher erfolgt die Codierung in Stufe 4.</p> |
| <p>D23-P abhängige Variable: Vermischung unabhängige Variablen: korrekte Variation des Salzgehalts (g) Kontrollvariablen: Tiefe/Gefäßgröße (100 ml), Wassermenge (50 ml) kontrolliert Skizze: [vorhanden] drei Messzylinder farbig angemalt, entsprechend den bereitgestellten Lösungen mit Beschriftung, keine Benennung des Kontrollansatzes</p> | <p>Der Kontrollansatz wird in der Planung nicht benannt, allerdings in den weiteren Ausführungen. Daher erfolgt die Codierung in Stufe 4.</p> |
| <p>D24-P abhängige Variable: Vermischung unabhängige Variablen: korrekte Variation des Salzgehalts (g) Kontrollvariablen: Wassermenge (100 ml), Wasserart (Süß, Salz) Skizze: keine</p> | <p>Der Kontrollansatz wird in der Planung nicht benannt, allerdings in den weiteren Ausführungen. Daher erfolgt die Codierung in Stufe 4.</p> |
| <p>D25-P abhängige Variable: Vermischung unabhängige Variablen: korrekte Variation des Salzgehalts (g) Kontrollvariablen: Gefäßgröße (100 ml), Wassermenge (50 ml) kontrolliert Skizze: [vorhanden] drei Messzylinder farbig angemalt, entsprechend den bereitgestellten Lösungen mit Beschriftung und Benennung des Kontrollansatzes</p> | |
| <p>E26-P abhängige Variable: Vermischung unabhängige Variablen: korrekte Variation des Salzgehalts (g) Kontrollvariablen: Gefäßgröße (100 ml), Wassermenge (50 ml) kontrolliert Skizze: [vorhanden] drei Messzylinder farbig angemalt, entsprechend den bereitgestellten Lösungen ohne Beschriftung, Benennung des Kontrollansatzes</p> | |

| | |
|--|--|
| <p>E27-P abhängige Variable: Schichten unabhängige Variablen: korrekte Variation des Salzgehalts (g) Kontrollvariablen: Gefäßgröße (400 ml), Wassermenge (200 ml) kontrolliert Skizze: [vorhanden] drei Messzylinder farbig angemalt, entsprechend den bereitgestellten Lösungen ohne Beschriftung, Benennung des Kontrollansatzes</p> | |
| <p>E30-P abhängige Variable: Schichtung unabhängige Variablen: korrekte Variation des Salzgehalts (g) Kontrollvariablen: Gefäßgröße (100 ml), Wassermenge (30 ml) kontrolliert Skizze: [vorhanden] ein Messzylinder farbig angemalt, entsprechend der bereitgestellten Lösungen Salzwasser und Süßwasser mit Beschriftung</p> | |

| Planung eines Experiments Stufe 3 (Code P_3) | Memo |
|---|--|
| <p>A5-P abhängige Variable: Vermischung unabhängige Variablen: Zwei der drei Aufbauten wurden umgekehrte geplant (oben höherer Salzgehalt als unten). Kontrollvariablen: Gefäßgröße (100 ml), Wassermenge (50 ml) kontrolliert Skizze: [vorhanden] drei Messzylinder farbig angemalt, entsprechend den bereitgestellten Lösungen mit Beschriftung und Benennung des Kontrollansatzes.</p> | <p>Die Planung dient nur bedingt der Überprüfung der Hypothesen. Es wurde vermutet, dass das Salzwasser in den unteren Schichten sein muss. In der Planung wird das Salzwasser jedoch in der oberen Schicht berücksichtigt. Der Kontrollansatz wird demnach nicht richtig eingesetzt. Alle weiteren Variablen werden korrekt aufgeführt, daher erfolgt die Codierung in die Stufe 3.</p> |
| <p>B6-P abhängige Variable: Vermischung von Süß- und Salzwasser unabhängige Variablen: korrekte Variation des Salzgehalts (g) Kontrollvariablen: Wassermenge (50 ml) kontrolliert Skizze: keine</p> | <p>Kontrollansatz wird nicht benannt.</p> |
| <p>B8-P abhängige Variable: Salzunterschied unabhängige Variablen: Zwei der drei Aufbauten wurden umgekehrte geplant (oben höherer Salzgehalt als unten). Kontrollvariablen: keine Angabe Skizze: [vorhanden] drei Messzylinder farbig angemalt, entsprechend den bereitgestellten Lösungen mit Beschriftung, keine Benennung des Kontrollansatzes</p> | <p>Kontrollansatz fehlt, fehlerhafter Umgang mit Variablen</p> |
| <p>B9-P abhängige Variable: Vermischung unabhängige Variablen: korrekte Variation des Salzgehalts (g) Kontrollvariablen: Wassermenge (40 ml) kontrolliert Skizze: [vorhanden] vier Messzylinder farbig angemalt, entsprechend den bereitgestellten Lösungen mit Beschriftung, keine Benennung des Kontrollansatzes</p> | <p>Der Kontrollansatz wird nicht benannt und nur eine Variable wird kontrolliert. Die weitere Planung und Identifikation der Variablen ist gelungen. Daher erfolgt die Codierung die Stufe 3.</p> |

| | |
|---|--|
| <p>B10-P abhängige Variable: Vermischung von Süß- und Salzwasser unabhängige Variablen: korrekte Variation des Salzgehalts (g) Kontrollvariablen: Gefäßgröße (100 ml), Wassermenge (50 ml) kontrolliert Skizze: keine</p> | <p>Der Kontrollansatz wird nicht benannt.</p> |
| <p>B11-P abhängige Variable: Vermischung des Wassers mit viel Salz und keinem Salz unabhängige Variablen: Salzgehalts (g) ohne Variation Kontrollvariablen: Wasser (ml) Skizze: keine</p> | <p>Es fehlt die Variation der unabhängigen Variablen sowie die Benennung des Kontrollansatzes. Es wird nur eine Kontrollvariable berücksichtigt.</p> |
| <p>B12-P abhängige Variable: Vermischung unabhängige Variablen: Die Variation des Salzgehalts (g) wird in der Beobachtung deutlich, allerdings ist sie aus der Planungstabelle nicht zu erkennen. Kontrollvariablen: Salzwasser (50 ml); Süßwasser (50 ml) - kontrolliert Skizze: keine</p> | <p>Der Kontrollansatz wird in der Planung nicht benannt, jedoch in der Beobachtung. Variation wird nicht beschrieben, allerdings wird sie durchgeführt, da die Beobachtung auf der Variation beruht.</p> |
| <p>C13-P abhängige Variable: Die Schichtung des Wassers. unabhängige Variablen: Zwei der drei Aufbauten wurden umgekehrte geplant (oben höherer Salzgehalt als unten). Gefäßgröße (100 ml), Kontrollvariablen: Wassermenge (50 ml) kontrolliert Skizze: [vorhanden] drei Messzylinder farbig angemalt, entsprechend den bereitgestellten Lösungen mit Beschriftung, ohne Benennung des Kontrollansatzes</p> | <p>Der Kontrollansatz wird nicht benannt.</p> |
| <p>C17-P abhängige Variable: Schichtung des Wassers unabhängige Variablen: Salzgehalt, ohne Variation, jedoch mit Kontrollansatz Kontrollvariablen: Gefäßgröße (100 ml), Wassermenge (50 ml) kontrolliert Skizze: [vorhanden] zwei Messzylinder farbig angemalt, entsprechend den bereitgestellten Lösungen mit Beschriftung</p> | <p>Die Variation der unabhängigen Variablen (Salzgehalt des Wassers) fehlt.</p> |
| <p>C18-P abhängige Variable: Schichtung des Wassers unabhängige Variablen: korrekte Variation des Salzgehalts (g) Kontrollvariablen: Wassermenge (50 ml) kontrolliert</p> | <p>Der Kontrollansatz wird in der Planung nicht benannt jedoch in den weiteren Ausführungen. Die Variation der unabhängigen Variablen fehlt.</p> |
| <p>D19-P abhängige Variable: Vermischung von Süß- und Salzwasser unabhängige Variablen: korrekte Variation des Salzgehalts (g) Kontrollvariablen: Gefäßgröße (100 ml), Wassermenge (50 ml) kontrolliert Skizze: keine</p> | <p>Der Kontrollansatz wird nicht benannt.</p> |

| | |
|---|--|
| <p>D20-P abhängige Variable: Vermischen des Wassers unabhängige Variablen: Zwei der drei Aufbauten wurden umgekehrt geplant (oben höherer Salzgehalt als unten). Kontrollvariablen: Gefäßgröße (100 ml), Wassermenge (50 ml) kontrolliert Skizze: [vorhanden] Messzylinder, drei Bechergläser mit den Farben rot, blau, gelb</p> | <p>Die Variation der unabhängigen Variablen ist fehlerhaft. Der Kontrollansatz wird nicht benannt.</p> |
| <p>D21-P abhängige Variable: Vermischung des Süß- und Salzwassers unabhängige Variablen: Wassermenge - Ansatz (1) unten 10 ml hoher Salzgehalt im Zylinder oben 90 ml Süßwasser; Ansatz (2) unten 50 ml Salzwasser mit hohem Salzgehalt und oben 50 ml Süßwasser; Ansatz (3) unten 90 ml Salzwasser und oben 10 ml Süßwasser Kontrollvariablen: Gefäßgröße (100 ml) Skizze: keine</p> | <p>Der Kontrollansatz fehlt. Diese Gruppe vermutete die Salzmenge als unabhängige Variable. Das Experiment wird entsprechend der H (1) richtig geplant.</p> |
| <p>D22-P abhängige Variable: Wassertiefe unabhängige Variablen: korrekte Variation des Salzgehalts (g) andere (Fragestellung) Kontrollvariablen: Gefäßgröße (100 ml), Wassermenge (50 ml) kontrolliert Skizze: keine</p> | <p>Entsprechend der Fragestellung richtig geplant. Die Tiefe wird überprüft. Da der Kontrollansatz nicht benannt wird, erfolgt die Codierung in Stufe 3.</p> |

| Planung eines Experiments Stufe 2 (Code P_2) | Memo | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|-------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------|---------|-----------------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|--|
| <p>B7-P</p> <p>abhängige Variable: Vermischung</p> <p>unabhängige Variablen: korrekte Variation des Salzgehalts (g)</p> <p>Kontrollvariablen: keine Angabe</p> <p>Skizze: [vorhanden] fünf Messzylinder farbig angemalt, entsprechend den bereitgestellten Lösungen mit Beschriftung, keine Benennung des Kontrollansatzes</p> <div><div><u>abhängige variable</u> Vermischt sich der Salzgehalt</div><div><u>unabhängige Variablen</u> Wassermenge (ml) Temperatur (°) Farbe Salzgehalt (mg)</div></div> <p>Skizze:</p> <div><div></div><div><p>GELB KEIN SALZ 0g BLAU VIEL SALZ 50g ROT GERINGER SALZ GEGEHT 10g</p></div></div> | <p>Kontrollansatz und Kontrollvariablen werden nicht benannt. Ansatz 2 und 3 sind Kontrollansätze, Variablenumgang bleibt unklar.</p> | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>E28-P</p> <p>abhängige Variable: Vermischung</p> <p>unabhängige Variablen: korrekte Variation des Salzgehalts (g)</p> <p>Kontrollvariablen: keine Angaben</p> <p>Skizze: keine</p> <div><div>Vermischung →</div><div><div>Salzmenge</div><div>Wassermenge</div><div>Farbe</div></div></div> <table><tr><th>Plan</th><th>unabh. V. Salzgehalt</th><th>abhäng. V.</th><th>K. V. Salzgehalt im Misch</th></tr><tr><td>1. Aufbau</td><td>Bl. 50g</td><td>nicht Vermischt</td><td>0g Glb.</td></tr><tr><td>2. Aufbau</td><td>20g rot</td><td>Vermischt</td><td>50g Bl.</td></tr><tr><td>3. Aufbau</td><td>0g Glb.</td><td>Vermischt</td><td>20g rot</td></tr></table> | Plan | unabh. V. Salzgehalt | abhäng. V. | K. V. Salzgehalt im Misch | 1. Aufbau | Bl. 50g | nicht Vermischt | 0g Glb. | 2. Aufbau | 20g rot | Vermischt | 50g Bl. | 3. Aufbau | 0g Glb. | Vermischt | 20g rot | <p>In der Tabelle sind die Variablen fehlerhaft geplant. Die Kontrollvariablen sind fehlerhaft und der Kontrollansatz fehlt.</p> |
| Plan | unabh. V. Salzgehalt | abhäng. V. | K. V. Salzgehalt im Misch | | | | | | | | | | | | | | |
| 1. Aufbau | Bl. 50g | nicht Vermischt | 0g Glb. | | | | | | | | | | | | | | |
| 2. Aufbau | 20g rot | Vermischt | 50g Bl. | | | | | | | | | | | | | | |
| 3. Aufbau | 0g Glb. | Vermischt | 20g rot | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>E29-P</p> <p>abhängige Variable: Ei</p> <p>unabhängige Variablen: Süßwasser und Salzwasser</p> <p>Kontrollvariablen: Wassermenge</p> <p>Skizze: [vorhanden] Messbecher mit Angabe der Milliliter ist beschriftet und farbig gestaltet</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | |

4 Teilkompetenz Daten auswerten

| Daten auswerten Stufe 4 (Code A_4) | Memo |
|---|--|
| <p>A2-A</p> <p>Beobachtung: Die Salzwasserschichten bei den Versuchsgefäßen mischen sich nicht. Bei dem Kontrollansatz mischen sie sich jedoch.</p> <p>Erklärung: Der Kontrollansatz mischt sich, weil das blau gefärbte Salzwasser [50 g Salz] nach unten sinkt, weil es schwerer ist. Dadurch mischt es sich mit dem gelb gefärbten Salzwasser [0 g], weil dieses leichter ist.</p> <p>Interpretation: Die Ostsee ist je nach Stelle höher oder tiefer. Je tiefer es ist, desto salzhaltiger ist das Wasser. Im Finnischen Meerbusen ist es flach, deshalb ist der Salzgehalt dort geringer. Außer der Landfläche im Meer ist es tiefer und deshalb salzhaltiger. Die Wasserschichten mischen sich nicht, weil das "schwerere" Salzwasser unten liegt und nicht steigt.</p> | |
| <p>A3-A</p> <p>Beobachtung: Beim Kontrollansatz hat sich das ganze Wasser vermischt! [unten 0g Salz, oben 50 g Salz im Wasser]. Bei unten 50 g Salzgehalt und oben 10 g Salzgehalt im Wasser hat es sich nicht vermischt. Bei unten 50 g und oben 0 g Salzgehalt im Wasser ist es auch so geblieben.</p> <p>Erklärung: Da das Wasser mit mehr Salzgehalt unten schwimmt, vermischt sich das Wasser nicht. Merke: Umso mehr Salzgehalt im Wasser, desto schwerer wird das Wasser. Deswegen schwimmt das Wasser mit mehr Salzgehalt unten. Antwort: Wasser mit wenig Salz und Wasser mit viel Salzgehalt vermischen sich nicht.</p> | |
| <p>A5-A</p> <p>Beobachtung: Bei 10 g [rot] oben und 0 g [gelb] unten hat es sich zu orange entwickelt. Bei 50 g [blau] oben und 0 g [gelb] unten hat es sich zu grün entwickelt. Bei 10 g [rot] oben und 50 g [blau] unten hat es sich nicht vermischt. Das Wasser hat sich nur bei dem Kontrollansatz vermischt!</p> <p>Erklärung: Beim Kontrollansatz haben sich die Farben nicht vermischt, weil die schwere Menge unten war und die leichtere oben, und bei den anderen haben sich die Farben vermischt, weil die leichtere Menge unten war und die schwerere Menge oben und dann ist die Farbe gesunken und es hat sich vermischt.</p> <p>Weiterführende Fragen: Aus unseren Ergebnissen stellen sich keine neuen Fragen.</p> <p>Interpretation: Die Salzsichten in der Ostsee vermischen sich nicht, weil manche schwerer und manche leichter sind.</p> | <p>An dieser Stelle wurde die fehlerhafte Planung aus Phase 3 als Folgefehler berücksichtigt. Die Schülerinnen und Schüler beschreiben ihre Beobachtungen genau und erklären diese entsprechend ihren Beobachtungen korrekt.</p> |
| <p>B8</p> <p>Beobachtung: (1) unten 0 g Salz / oben 50 g Salz: Das Wasser vermischt sich. (2) unten 50 g Salz / oben 0 g Salz: Das Wasser vermischt sich nicht. (3) unten 0 g Salz / oben 10 g Salz: Das Wasser vermischt sich. (4) unten 10 g Salz / oben 50 g Salz: Das Wasser vermischt sich-</p> <p>Erklärung: Wenn das Wasser mit hohem Salzgehalt unten ist und das Wasser mit weniger Salzgehalt oben ist, vermischt sich das Wasser nicht. Aber wenn das Ganze umgedreht ist, vermischt sich das Wasser.</p> <p>Weiterführende Fragen: Kann sich Wasser mit drei unterschiedlichen Salzgehalten vermischen?</p> <p>Interpretation: Je näher die Ostsee an der Nordsee ist, desto mehr</p> | <p>Auch wenn die Interpretation nicht ganz gelungen ist, so werden die verbleibenden Aspekte der Auswertung korrekt formuliert.</p> |

| | |
|---|---|
| Salzgehalt ist in der Ostsee. | |
| <p>C14-A</p> <p>Beobachtung: Da wo das Salz im Wasser eingemischt war und als erstes eingefüllt war ist es getrennt geblieben.</p> <p>Erklärung: Das liegt daran, dass das Salz schwerer als Wasser ist. Bei dem Kontrollansatz hat sich das Wasser vermischt.</p> <p>Problemreflexion: Die Gefäße waren nicht immer gleich groß. Man hat nicht immer exakt gemessen</p> <p>Interpretation: Das Salzwasser trifft in mehreren Schichten auf das Süßwasser.</p> | |
| <p>C16-A</p> <p>Beobachtung: (1) oben 0 g Salz; unten 50 g Salz: Es vermischt sich nicht. (2) oben 0 g; unten 10 g: Hier vermischt es sich wieder nicht. (3) oben 50 g; unten 0 g: Es vermischt sich.</p> <p>Erklärung: (1) Es vermischt sich, weil das blaue Wasser (50 g Salz) einen hohen Salzgehalt hat und daher schwerer ist als das rote Wasser (10 g Salz), das weniger Salz hat als das blaue Wasser. (2) Hier vermischt es sich wieder nicht, da das schwerere Wasser, also das rote Wasser, wieder unten ist und das Süßwasser oben. (3) Es vermischt sich, weil wir das Süßwasser diesmal zuerst reingeschüttet haben und dann erst das schwerere Wasser, also das Salzwasser.</p> <p>Interpretation: Der Salzgehalt in der Ostsee ist unterschiedlich hoch, weil von einer Seite das Süßwasser kommt und von der Nordsee das Salzwasser angespült wird. Deswegen vermischen sich Salz- und Süßwasser kaum und deswegen hat die Ostsee verschiedene Salzgehalte.</p> | |
| <p>C18-A</p> <p>Beobachtung: Der Kontrollansatz [oben 50 g Salz und unten Süßwasser] hat sich ganz vermischt. Beim 2. und 3. Glas blieben die Wasserschichten getrennt oder vermischten sich nur ganz wenig.</p> <p>Erklärung: Salzwasser ist schwerer als Süßwasser. Das Leichte ist immer oben, deshalb bleibt leicht oben oder geht nach oben und schweres geht nach unten.</p> <p>Interpretation: Bei der Ostsee ist das Wasser zwar quasi "nebeneinander" aber es vermischt sich trotzdem nicht.</p> | <p>Die Auswertung ist inhaltsskurz gehalten entspricht jedoch weitestgehend den Anforderungen. Die Interpretation lässt noch Fragen offen. Weiterführende Fragen wären wünschenswert gewesen.</p> |
| <p>D23-A</p> <p>Beobachtung: (1) 0 g unten und 10 g oben: Es hat sich vermischt, als wir die 10 g draufgeschüttet haben. (2) 50 g unten und 10 g oben: Es hat sich nicht vermischt, nachdem wir sie zusammengekippt haben. (3) 50 g unten und 0 g oben: es hat sich vermischt.</p> <p>Erklärung: Es hat sich bei 50 g und 10 g nicht vermischt, da das schwere Salzwasser unten war. Beim Kontrollansatz mit 0 g hat es sich vermischt, da das leichtere Süßwasser unten und das schwerere Salzwasser oben war.</p> <p>Problemreflexion: Bei dem Versuch mit 50 g unten und 0 g oben hat es sich vermischt, obwohl das schwerere Salzwasser unten war.</p> <p>Weiterführende Fragen: Was passiert, wenn man das Wasser vorher erhitzt oder wenn man es mit anderen Flüssigkeiten macht?</p> <p>Interpretation: Bei der Ostsee ist, näher am Land, ein niedriger Salzgehalt, da das Salzwasser unten und das Süßwasser oben ist – wegen den Flüssen. Im Westen vermischt es sich schlechter.</p> | |

| | |
|--|--|
| <p>D24-A Beobachtung: Der Kontrollansatz [unten 0 g Salz und oben 50 g Salz] hat bestätigt, dass das Salzwasser schwerer als das Süßwasser ist, deswegen vermischt sich das Salzwasser mit dem Süßwasser, wenn das Salzwasser oben ist. Erklärung: s. Beobachtung Weiterführende Fragen: Was passiert, wenn mehr Salzwasser als Süßwasser vorhanden ist? Was wäre passiert, wenn Salz- und Süßwasser warm sind? Interpretation: Bei der Ostsee ist an der Küste weniger Salzgehalt, weil die ganzen Süßwasserflüsse ins Meer fließen. Weiter draußen ist mehr Salzgehalt, weil Ozeanwasser ins Meer fließt. Im Experiment haben wir herausgefunden, dass Salz- und Süßwasser sich nicht immer vermischen.</p> | <p>Beobachtung und Erklärung wurden nicht getrennt. Dennoch werden die Ergebnisse deutlich. Daher Codierung in Stufe 4 bei ansonsten richtigen Ausführungen.</p> |
| <p>D25-A Beobachtung: Bei 0 g [unten] und 50 g [oben] war alles in der gleichen Farbe, unten war es etwas heller als oben. Bei 50 g [unten] und 0 g [oben] vermischt es sich nur zwischen 40 ml und 50 ml [im Messzylinder]. Bei 10 g [oben] und 50 g [unten] vermischt es sich nur bei 30 ml und 40 ml [im Messzylinder]. Erklärung: Wir haben erst 50 g auf 0g Salz im Wasser geschüttet. Dann haben wir 0 g auf 50 g Salz im Wasser geschüttet und zuletzt haben wir 10 g auf 50 g geschüttet. Das Salzwasser ist schwerer. Weiterführende Fragen: Was würde passieren, wenn man andere [verschiedene] Salzsarten zusammenschüttet? Was passiert, wenn man mehr als zwei Schichten Salzwasser [verschiedene Mengen] zusammenschüttet? Interpretation: Da Salzwasser schwerer ist als Süßwasser, vermischt es sich in der Ostsee nicht.</p> | <p>Die Interpretation ist zu offen. Die Frage wird nur oberflächlich beantwortet. Die weitere Auswertung ist gelungen, daher erfolgt die Codierung in Stufe 4.</p> |

| Daten auswerten Stufe 3 (Code A_3) | Memo |
|--|--|
| <p>A1-A Beobachtung: Der Kontrollansatz hat sich nicht vermischt. 10 g oben und 50 g unten haben sich vermischt. 0 g oben und 10 g unten haben sich nicht vermischt. Erklärung: Die verschiedenen Salzgehalte haben sich nicht vermischt, weil wenn das untere Wasser schwerer ist als das obere Wasser es sich nicht vermischt.</p> | <p>Die Übertragung auf das Raumbeispiel Ostsee fehlt. Daher erfolgt die Codierung in die Stufe 3.</p> |
| <p>A4-A Beobachtung: Der Kontrollansatz [oben 50 g Salz und unten 10 g Salz] vermischt sich. Der 2. Versuch [oben 10 g Salz und unten 50 g Salz], da sieht man, dass es sich vermischt. Beim 3. Versuch [oben 0 g Salz und unten 50 g Salz] hat es sich alles deutlich vermischt. Der Kontrollansatz vermischt sich sichtbar. Beim 2. Versuch vermischt es sich deutlich. Der 3. Versuch: da hat sich alles vermischt. Erklärung: Das Salz vermischt sich nicht, weil es schwerer ist. Das mit dem höheren Gehalt ist schwerer und schwimmt deswegen nach unten. Bei dem Kontrollansatz vermischt sich alles, weil nur 50 g darin sind.</p> | <p>Die Erklärung widerspricht den Beobachtungen. Es treten unerwartete Ergebnisse auf, die von den Schülerinnen und Schülern nicht beachtet werden. Die Übertragung auf das Raumbeispiel Ostsee fehlt.</p> |

| | |
|--|--|
| <p>B9 Beobachtung: Wenn Wasser mit wenig oder keinem Salz zuerst eingeschüttet wird, vermischt sich das Wasser. Wenn Wasser mit viel Salz zuerst eingeschüttet wird, vermischt sich das Wasser nicht. Erklärung: Viel Salz zuerst [unten]: Das dichtere Wasser [mit Salz] sinkt nach unten und das nicht so dichte [kein Salz] steigt nach oben. Wenn wenig Salzgehalt im Wasser oder Süßwasser unten ist, hat sich das Wasser vermischt und somit den gleichen Salzgehalt also verteilt es sich gleichmäßig. Das Salzwasser vermischt sich und so bleibt der Salzgehalt des Wassers gleich. Problemreflexion: Bei der Durchführung gab es keine Probleme. Weiterführende Fragen: Uns stellen sich keine Fragen aus dem Ergebnis des Experiments.</p> | <p>Die Übertragung auf das Raumbeispiel Ostsee fehlt. Daher erfolgt die Codierung in die Stufe 3.</p> |
| <p>B10-A Beobachtung: Wenn unten Wasser mit viel Salz und oben Wasser mit geringem Salzgehalt ist bilden sich Schichten. Je mehr Salz, desto deutlicher wird die Schicht. Erklärung: Wasser mit weniger Salzgehalt ist leichter als Wasser mit viel Salzgehalt. Problemreflexion: Wir haben noch geschrieben, da hat Martin angefangen. Wir durften nicht bei der Vermischung von Martin mitmachen.</p> | <p>Die Übertragung auf das Raumbeispiel Ostsee wird nicht aufgeführt. Beobachtung und Erklärung sind gelungen.</p> |
| <p>B11-A Beobachtung: Wasser mit Salz vermischt sich nicht mit dem Süßwasser, aber Wasser mit Salzgehalt vermischt sich mit Salzwasser. Erklärung: Salzwasser ist schwerer als Süßwasser und das Salzwasser setzt sich auf dem Boden ab. Weiterführende Fragen: Würde sich Wasser mit sehr hohem Salzgehalt auch mit Wasser mit sehr wenig Salzgehalt mischen? Interpretation: Weil das Süßwasser der Ostsee nur von einer Seite kommt blockiert das Salzwasser den Weg nach draußen. Also sammelt sich das Süßwasser der Ostsee im hinteren Gebiet der Ostsee.</p> | <p>Die Beobachtung ist sehr ungenau. Aus der Beobachtung können die Rückschlüsse der Erklärung kaum resultieren. Die weiterführende Frage ist unlogisch. Allerdings sind die Erklärung und die Interpretation gelungen. Daher erfolgt die Codierung in die Stufe 3.</p> |
| <p>B12-A Beobachtung: Viel Salzgehalt im Wasser unten mit wenig Salz oben hat sich wenig vermischt, denn unten ist es noch blau und oben ist es vermischt. Süßwasser oben und Salzwasser unten hat sich wenig vermischt. Kontrollansatz: unten gelb [0 g Salz] und oben blau [50 g Salz] hat sich vermischt. Anders herum aber nicht. Erklärung: Süßwasser und Salzwasser vermischen sich nicht weil Salzwasser schwerer als Süßwasser ist. (Dazu wurde Skizze mit Farbverlauf erstellt.) Problemreflexion: Wir haben gut miteinander gearbeitet. Weiterführende Fragen: Vermischt sich Süßwasser mit Salzwasser wenn Salzwasser weniger Gramm (Salz) enthält?</p> | <p>Die Übertragung auf das Raumbeispiel Ostsee wird nicht aufgeführt. Beobachtung und Erklärung sind gelungen.</p> |

| | |
|---|---|
| <p>C15-A Beobachtung: Beim ersten, also oben viel Salz im Wasser und unten kein Salz im Wasser vermischt sich das Wasser. Beim zweiten, also oben kein Salz im Wasser und unten viel Salz im Wasser vermischt sich das Wasser nicht. Beim dritten, also oben mittelviel Salz im Wasser und unten kein Salz im Wasser, vermischt sich das Wasser nicht. Erklärung: Beim ersten Aufbau vermischt es sich, weil das blaue Wasser (Wasser mit viel Salzgehalt) schwerer ist als das gelbe (Wasser ohne Salz). Beim zweiten Aufbau vermischt es sich nicht, da das schwere Wasser, also (Wasser mit viel Salzgehalt) als erstes reingeschüttet wurde und das leichte, also (Wasser ohne Salz) als letztes. Beim dritten vermischt es sich wie beim ersten, weil das (Wasser mit mittlerem Salzgehalt) schwerer ist als das (Wasser ohne Salz).</p> | <p>Widersprüche treten bei der Erklärung auf. Das dritte Ergebnis widerspricht den Beobachtungen, Schwierigkeiten beim Umgang mit Anomalien. Die Übertragung auf das Raumbeispiel Ostsee fehlt.</p> |
| <p>C17-A Beobachtung: Wir haben es aufeinander geschüttet und bei dem 1. [oben Süßwasser, unten Salzwasser mit 50 g Salz] vermischt es sich nicht. Aber bei dem 2. [oben Salzwasser 50 g Salz, unten Süßwasser] vermischt es sich. Erklärung: Das Salzwasser ist schwerer als das Süßwasser</p> | <p>Die Interpretation sowie die Reflexion der Methode (Problemreflexion) fehlt.</p> |
| <p>D19-A Beobachtung: Schüttet man Salzwasser in ein Gefäß, wo der niedrigere Salzgehalt unten und der höhere oben ist, so vermischt es sich. Ist aber der niedrigerer Salzgehalt oben und der höhere unten, so vermischt es sich nicht und es bilden sich Farbschichten. Trifft sich das Salzwasser mit dem Süßwasser unten, vermischt es sich und man sieht keinen Unterschied. Weiterführende Fragen: Was passiert, wenn man Süßwasser und Süßwasser mit unterschiedlichem Zuckergehalt zusammenschüttet?</p> | <p>Beobachtung wird beschrieben. Die Beobachtungen beziehen sich auf die Hypothese (1). Es erfolgt keine Erklärung oder Interpretation.</p> |
| <p>D20-A Beobachtung: (1) unten 0 g Salz / oben 20 g Salz: Das Wasser vermischt sich. (2) unten 50 g Salz / oben 0 g Salz: Das Wasser vermischt sich. (3) unten 0 g Salz / oben 50 g Salz: Das Wasser vermischt sich. Wenn das Wasser mit dem niedrigen Salzgehalt unten ist, dann vermischt es sich denn umso mehr Salz drinnen ist desto leichter wird das Wasser. Wenn man das Wasser mit dem hohen Salzgehalt nach unten schüttet und das Wasser mit dem niedrigen nach oben, dann vermischt es sich nicht. Wenn man das Wasser mit dem hohen Salzgehalt nach oben schüttet und das Wasser mit dem niedrigen nach unten, dann vermischt es sich. Erklärung: Weil das Wasser mit dem hohen Salzgehalt schwerer ist, als das mit dem niedrigen.</p> | <p>Die Erklärung widerspricht den Beobachtungen. Die (korrekte) Erklärung kann aus den Beobachtungen nicht resultieren. Die Interpretation fehlt.</p> |
| <p>D22-A Beobachtung: Ansatz (1) unten 50 g oben 10 g - es vermischt sich nicht, 50 g geht bis zu 50 ml. Ansatz (2) unten 50 g oben 0 g - es vermischt sich nicht, 50 g geht bis 20 ml. Ansatz (3) unten 0 g oben 50 g - Wasser hat sich vermischt Erklärung: Wahrscheinlich ist das Wasser wo mehr Salz enthalten ist schwerer als das Wasser wo wenig oder gar kein Salz enthalten ist. Weiterführende Fragen: Passiert das gleiche mit kaltem oder warmem Wasser?</p> | <p>Die Erklärung bezieht sich zwar auf die Hypothesen, allerdings wird der Faktor Tiefe nicht wieder aufgegriffen.</p> |

| Daten auswerten Stufe 2 (Code A_2) | Memo |
|---|---|
| <p>B6-A Beobachtung: (1) 50 g [blau] unten + 0 g [gelb] oben = 20 ml blau und 80 ml grün [vom Messzylinder abgelesen]; (2) 10 g [rot] unten + 0 g [gelb] oben = 15 ml rot unten und 85 ml orange oben; (3) 0 g [gelb] unten + 50 g [blau] oben = 100 ml grün Erklärung: Süßwasser ist leichter als Salzwasser, daher vermischen sie sich nicht miteinander.</p> | <p>Weiterführende Fragen und Interpretation fehlen.</p> |
| <p>C13-A Erklärung: Das Salzwasser ist schwerer.</p> | <p>Die Erklärung wird ohne die ausformulierte Beobachtung beschrieben. Die Erklärung ist jedoch korrekt und ermöglicht die richtige Hypothesenrevision. Diese ist hier ein Sonderfall, da die Gruppe eine andere Ausgangsvermutung hatte, d. h. Salzwasser ist leichter als Süßwasser. Diese Vermutung wird im Experiment widerlegt. Die Schülerinnen und Schüler gehen damit richtig um. Dennoch fehlen Beobachtung, Reflexion und Interpretation.</p> |
| <p>D21-A Beobachtung: Ansatz (1) 10 ml Salzwasser und 90 ml Süßwasser mischt sich sofort; Ansatz (2) 50 ml Salzwasser und 50 ml Süßwasser mischt sich nicht gut; Ansatz (3) 90 ml Salzwasser mit 10 ml Süßwasser mischt sich nicht. Erklärung: Wenn man 10 ml starkes Salzwasser mit 90 ml Süßwasser mischt, mischt sich es stärker. 50 ml starkes Salzwasser mit 50 ml Süßwasser mischt sich nicht so gut. 90 ml starkes Salzwasser und 10 ml Süßwasser mischt sich nicht. Je mehr Salzwasser ist, desto schlechter mischt es sich.</p> | <p>Beobachtung wird beschrieben. Die Beobachtungen beziehen sich auf die Hypothese (1). Es erfolgt keine Erklärung oder Interpretation.</p> |
| <p>E30-A Beobachtung: (1) 10 g Salz [oben] 0 g Salz unten: Es vermischt sich. (2) 50 g Salz [unten] 0 g Salz [oben]: Es vermischt sich nicht. (3) 0 g Salz oben und unten: Das Wasser bleibt normal. Problemreflexion: Mehr Wasser nehmen. Weiterführende Fragen: Was passiert, wenn wir mehr Wasser nehmen?</p> | <p>Beobachtung wird beschrieben. Die Beobachtungen beziehen sich auf die Hypothese (1). Es erfolgt keine Erklärung oder Interpretation.</p> |

| Daten auswerten Stufe 1 (Code A_1) | Memo |
|---|--|
| <p>B7-A Beobachtung: (1) 50 g [blau] unten + 10 g [rot] oben = Es bilden sich Schichten. (2) 0 g [gelb] unten + 10 g [rot] oben = Es vermischt sich. (3) 0 g [gelb] unten + 50 g (blau) oben = Es vermischt sich. (4) 50 g [blau] unten + 0 g [gelb] oben = bildet Schichten</p> | <p>Die Beobachtung wird korrekt formuliert, allerdings werden keine weiteren Auswertungen vorgenommen (Ergebnisse, Interpretation usw.).</p> |
| <p>E26-A Beobachtung: Das Glas mit 0 Gramm Salz [oben] und 50 g Salz hat sich vermischt und das Glas mit 10 g [oben] + 50 g hat sich auch vermischt. Das Glas mit 0 g [oben] + 10 g Salz hat sich nicht vermischt. Erklärung: Wir wissen nicht warum.</p> | <p>Erklärung und Interpretation fehlen.</p> |
| <p>E27-A Beobachtung: Je mehr Salz im Wasser ist, desto mehr trennt es sich.</p> | <p>Erklärung, Interpretation und genaue Beobachtung fehlen.</p> |
| <p>E28 Beobachtung: Das Wasser mit 50 g Salz unten vermischt sich nicht mit dem 0 g Salzwasser und man kann sehen, dass die Farben sich nicht vermischen.</p> | <p>Erklärung, Interpretation und genaue Beobachtung fehlen.</p> |
| <p>E29-A Beobachtung: Wir haben das Ei rein gelegt und es ist untergetaucht, aber es ist wieder gekommen und ist auf der Wasseroberfläche geblieben.</p> | <p>Erklärung, Interpretation und genaue Beobachtung fehlen.</p> |

12 Versicherung

„Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbstständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe.

Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht.

Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.“

(Carina Peter)

Gießen, den 12.11.2013

Ich möchte allen danken, die mich bei der Erstellung meiner Arbeit unterstützt haben!

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktervater Prof. Dr. Dr. Johann-Bernhard Haversath für die langjährige Unterstützung und die zahlreichen anregenden Gespräche.

Weiterhin möchte ich den Mitgliedern und Angestellten des Geographieinstituts der Justus-Liebig Universität danken und dabei insbesondere Herrn Prof. Dr. Andreas Dittmann. Im Bereich Didaktik danke ich Frau Dr. habil. Stefanie Zecha, Herrn Sascha Haffer, Herrn Thomas Schiller und Frau Petra Heid-Emmerich für die Unterstützung. Frau Dr. habil. Stefanie Zecha und Herrn Prof. Dr. Andreas Dittmann danke ich zudem für ihre Tätigkeiten als Prüfer am Tag der Disputation. Auch möchte ich meinem Prüfer Herrn Prof. Dr. Hans-Peter Ziemek aus der Biologiedidaktik danken.

Herrn Prof. Dr. Karl-Heinz Otto und Herrn Prof. Dr. Leif O. Mönter danke ich für die fachkompetente Beratung.

Bei Frau Prof. Dr. Sandra Hof bedanke ich mich besonders herzlich für ihren gesamten Beistand, die ermutigenden Gespräche sowie die vielen kompetenten und konstruktiven Hinweise.

Eine Interventionsstudie ist ohne Schülerinnen, Schüler und Lehrkräfte nicht möglich. Mein Dank gilt allen beteiligten Lernenden und Lehrkräften. Besonders möchte ich den Schulleiterinnen Frau Evelin Hedrich und Manuela Gros danken, die mich viele Jahre unterstützt und dadurch einen großen Beitrag zu meiner Forschungsarbeit geleistet haben. Herrn Florian Drechsler, Frau Michaela Franz, Frau Denise Kuczera, Frau Julia Bormann und Frau Monique Gonder möchte ich stellvertretend für alle Freunde und Kollegen danken. Sie haben mich während der Konzeption und Datenerhebung maßgeblich unterstützt, herzlichen Dank dafür.

Meiner Familie, insbesondere meinem Vater Michael Peter und meiner Mutter Marita Peter, gilt der größte Dank. Holger danke ich für seine unendliche Geduld in den letzten Jahren. Ihr habt mir diesen Weg ermöglicht. Danke.